

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-291214

(43)Date of publication of application : 19.10.2001

(51)Int.Cl.

G11B 5/39  
G01R 33/09  
H01F 10/14  
H01F 10/16  
H01L 43/08

(21)Application number : 2000-104359

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 06.04.2000

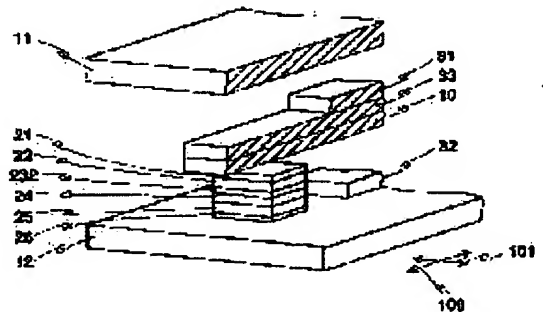
(72)Inventor : WATANABE KATSURO  
KAWATO YOSHIKI  
ARAI REIKO

## (54) MAGNETO-RESISTIVE SENSOR, MAGNETIC HEAD USING THE SAME AND MAGNETIC RECORDING AND REPRODUCING DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To secure high sensitivity and high stability in a magneto-resistive sensor using a magneto-resistive sensor film of a GMR effect film or a TMR effect film and a magnetic flux guide.

**SOLUTION:** Magnetization of the magnetic flux guide 10 and a first ferromagnetic layer 22 which is a free layer of a GMR or TMR effect sensor film are bonded anti-ferromagnetically through a non-magnetic intermediate layer 21. Since the practical magnetization quantity at a part where the magneto-resistive sensor film is disposed is reduced, thereby increases an angle of magnetization of the first ferromagnetic layer 22 rotated by the magnetic field guided by the magnetic flux guide 10, high sensitivity can be obtained. By further providing a longitudinal bias applying layer 33 to the magnetic flux guide 10, a longitudinal bias magnetic field is applied also to the first ferromagnetic layer 22 bonded anti-ferromagnetically to the magnetic flux guide 10, thereby suppresses the Barkhausen noise of both the magnetic flux guide 10 and the first ferromagnetic layer 22.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.04.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]



Searching / AS  
[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office



## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] A magnetic-reluctance sensor film equipped with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. The flux guide for leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. It is the magnetic-reluctance sensor equipped with the above, and the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the aforementioned magnetic-reluctance sensor film is impressed is characterized by having combined with the aforementioned flux guide in antiferromagnetism.

[Claim 2] A magnetic-reluctance sensor film equipped with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. The flux guide for leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. It is the magnetic-reluctance sensor equipped with the above, and the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the aforementioned magnetic-reluctance sensor film is impressed is characterized by having combined with the aforementioned flux guide in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys.

[Claim 3] It is the magnetic-reluctance sensor characterized by having connected magnetically in the position which the aforementioned flux guide consisted of the 1st flux-guide section and the 2nd flux-guide section, and the above 1st and the 2nd flux-guide section were continuing in the element height direction from the aforementioned medium opposite side in the magnetic-reluctance sensor according to claim 1 or 2, and is distant from the aforementioned medium opposite side in the element height direction from the aforementioned magnetic-reluctance sensor film.

[Claim 4] The magnetic-reluctance sensor characterized by preparing the vertical bias impression layer for suppressing a Barkhausen noise to the aforementioned flux guide in a magnetic-reluctance sensor according to claim 1, 2, or 3.

[Claim 5] In the magnetic-reluctance sensor of a claim 1-4 given in any 1 term the aforementioned magnetic-reluctance sensor film It has the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer by which the laminating was carried out through the tunnel barrier layer. The ferromagnetic layer of the above 1st is a magnetic-reluctance sensor characterized by electric resistance changing, when the direction of magnetization rotates according to the magnetic field impressed and the relative angle of the direction of magnetization of the ferromagnetic layer of the above 1st and the direction of magnetization of the ferromagnetic layer of the above 2nd changes.

[Claim 6] The magnetic head characterized by including the reproducing head characterized by providing the following. The magnetic-reluctance sensor film which has the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. The flux guide for having combined with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the aforementioned magnetic-reluctance sensor film is impressed in antiferromagnetism, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film.

[Claim 7] The magnetic head characterized by including the reproducing head characterized by providing the following. It is the magnetic-reluctance sensor film which is equipped with the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer by which the laminating was carried out through the tunnel barrier layer, and the direction of magnetization rotates according to the magnetic field to which the ferromagnetic layer of the above 1st is impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. The flux guide for combining with the ferromagnetic layer of the above 1st of the aforementioned magnetic-reluctance sensor film in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film.

[Claim 8] The magnetic head characterized by including the reproducing head characterized by providing the following. It is the magnetic-reluctance sensor film from which it has the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer by which the laminating was carried out through the nonmagnetic conductive layer, and electric resistance changes when the direction of magnetization rotates the ferromagnetic layer of the above 1st according to the magnetic field impressed and the relative angle of the direction of magnetization of the ferromagnetic layer of the above 1st and the direction of magnetization of the 2nd ferromagnetic layer changes. The electrode of the couple for passing signal-detection current on the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. The flux guide for combining with the ferromagnetic layer of the above 1st of the aforementioned magnetic-reluctance sensor film in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film.

[Claim 9] The magnetic head characterized by preparing the vertical bias impression layer for suppressing a Barkhausen noise to the aforementioned flux guide in the magnetic head according to claim 6, 7, or 8.

[Claim 10] Magnetic storage including the magnetic head equipped with the magnetic-recording medium characterized by providing the following, and the Records Department and the reproduction section, the driving means which make the aforementioned magnetic head motion relatively to the aforementioned magnetic-recording medium, and a record regenerative-signal processing means. The reproduction section of the aforementioned magnetic head is a magnetic-reluctance sensor film containing the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current









\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the magnetic-reluctance sensor which induces the MAG, the magnetic head which reproduces the information recorded magnetically, using the magnetic-reluctance sensor as a reproduction element, and a magnetic recorder and reproducing device.

[0002]

[Description of the Prior Art] The improvement in the recording density in a magnetic recorder and reproducing device, especially a magnetic disk unit is remarkable, and the high reproduction output is demanded of the reproducing head which is the key device of a magnetic disk unit. In order to obtain a high reproduction output in high recording density, the interval between a magnetic disk and the magnetic head (head flying height) is small. Although the present head flying height is about 30nm, it becomes still smaller from now on, and a bird clapper can be considered in the false contact state where the magnetic head has surfaced in the magnetic disk and the state almost near contact, or the contact state of being in contact. In this case, if the GMR effect film which is a reproduction element is exposed to the medium opposite side of the magnetic head, it is possible that the injury on the GMR effect film by wear takes place. The magnetic head which prepared the flux guide extended in the element height direction from the medium opposite side in JP,10-334418,A as a method of avoiding this is indicated. the strong magnetic layer (free layer) of the GMR effect film from which the magnetization direction changes in this magnetic head according to an external magnetic field — a part of flux guide — it turned the direct laminating up and magnetization of a free layer has combined with magnetization of a flux guide in ferromagnetism magnetically

[0003] Moreover, examination of a high increase in power is performed also in the magnetic-reluctance sensor film. In recent years, the magnetoresistance-effect type (MR) head which used the magnetoresistance effect as the reproducing head is used. In several Gb/inch about two recording density, although the MR head (AMR head) using the anisotropy magnetoresistance effect (the AMR effect) was used, since it becomes the shortage of sensitivity by the AMR effect in the recording density beyond it, the MR head (GMR head) using the huge magnetoresistance effect (the GMR effect) is used.

[0004] However, in order to raise recording density further from now on, the still bigger reproduction output more than present is needed. although research and development of the new magnetoresistance-effect film which replaces the GMR effect film are done briskly for the reason, the ferromagnetic tunnel magnetoresistance-effect (TMR effect) film with which the tunnel barrier layer is inserted between two-layer ferromagnetic layers as one of the strong candidate of the attracts attention for example in the composition which inserted aluminum oxide film into journal OBUMAGUNETIZUMU- of the 1995 publication and - magnetic MATERIARUZU, the 139th volume, and L231-L234 page between two-layer Fe layers, the TMR effect film is reported, if about 18% of resistance rate of change was obtained at the room temperature. Moreover, the MR head which used the TMR effect film as a magnetic-reluctance sensor film is indicated by JP,3-154217,A.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] the ferromagnetic layer (a free layer) of the GMR effect film from which, as for JP,10-334418,A, the magnetization direction changes according to an external magnetic field — some flux-guide films — although magnetization of a free layer is indicating the GMR effect head magnetically combined with magnetization of a flux guide by turning a direct laminating up, the magnetic combination in this case is ferromagnetism-combination in this structure, magnetization of a flux guide rotates according to the magnetic field from a medium, magnetization of the free layer combined with magnetization of a flux guide in ferromagnetism by it also rotates, a relative angle with magnetization of the strong magnetic layer (fixed bed) of the GMR effect film from which the magnetization direction does not change with external magnetic fields changes, and resistance change is produced. However, in the portion which the flux guide and free layer used as the source which produces resistance change have combined in ferromagnetism, since the efficiency-amount of magnetization is large, compared with the portion in which a free layer does not exist in a flux guide, it is hard coming to rotate magnetization, sensitivity falls as the result, and there is a problem that it is difficult to raise a reproduction output.

[0006] By the way, in order to apply the TMR effect film to an MR head, there is a problem which should be solved. The composition of the magnetic-reluctance sensor film of the MR head using the AMR effect and the GMR effect is a horizontal bias impression layer / nonmagnetic conductive layer / AMR ferromagnetism layer, and a free layer / nonmagnetic conductive layer / fixed bed / antiferromagnetism layer, for example, respectively, and, generally all layers consist of metal membranes. On the other hand, in the TMR effect film, fundamental composition is a free layer / tunnel barrier layer / fixed bed, among these the thickness of a tunnel barrier layer is a metal oxide film several nm or less. Since the TMR effect is what produces by electron tunneling between the ferromagnetic layers through this tunnel barrier layer, it is necessary to produce so that a tunnel barrier layer may not connect too hastily in a head production process, and technology peculiar to a TMR head which is different from the conventional MR head in arrangement, the production process, etc. of the vertical bias impression layer for suppressing the Barkhausen noise of a free layer is required.

[0007] There is no description about a vertical bias impression layer indispensable to stable head operation in above-mentioned journal OBUMAGUNETIZUMU- and - magnetic MATERIARUZU, the 139th volume, L231-L234 page, and JP,3-154217,A.

[0008] moreover, it is alike and it is following, and in order it detects by passing sense current perpendicularly to a film surface to the AMR effect film and the GMR effect film a film is used for a present MR head passing sense current to



the film-surface inboard of these films, and detecting a magnetic field in the case of a TMR effect film, it increases and the resistance of a TMR effect element has the problem element size becomes small to a problem that where of a noise increases by this

[0009] Furthermore, when it is made the structure which exposed the magnetic-reluctance sensor film to the medium opposite side like the conventional MR head, there is also a problem that there is a possibility that the two-layer ferromagnetic layer of the upper and lower sides of a tunnel barrier layer may short-circuit, at the time of lap processing of a medium opposite side, and very minut processing technology is needed for it.

[0010] if the structure currently indicated by JP.10-334418.A is applied to the TMR effect film, since these problems can make element resistance small since they can enlarge element size and a barrier layer will not expose them to a medium opposite side furth  $r$  — simplistic — since it is reliable, although it is thought that it is solvable, there is a problem that where of sensitivity falls as mentioned above

[0011] The purpose of this invention is by aiming at improvement in sensitivity in the structure using a flux guide, without exposing magnetic-reluctance sensor films, such as a GMR effect film and a TMR effect film, to a medium opposite side, and impressing a vertical bias magnetic field to both free layers of a flux guide and a magnetic-reluctance sensor film to offer the magnetic-reluctance sensor which has high sensitivity and high stability. Other purposes of this invention are to offer the magnetic recorder and reproducing device of high recording density which carried the high sensitivity magnetic head using the magnetic-reluctance sensor which has high sensitivity and high stability as a reproduction element, and its magnetic head.

[0012]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, the structure of the following magnetic-reluctance sensors is adopted in this invention. First, in order to obtain high sensitivity, the structure of combining in antiferromagnetism the 1st ferromagnetic layer (layer which is in contact with the interlayer when a free layer or a free layer is a laminated structure) which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed among two or more magnetic layers which constitute the flux guide and magnetic-reluctance sensor film for leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to a magnetic-reluctance sensor film through a nonmagnetic interlayer was adopted. Moreover, in order to realize high stability, the structure of preparing the vertical bias impression layer for suppressing a Barkhausen noise in a flux guide was adopted. If the 1st ferromagnetic layer of a flux guide and a magnetic-reluctance sensor film has joined together in antiferromagnetism, the vertical bias magnetic field impressed to the flux guide can be impressed to the 1st ferromagnetic layer of a magnetic-reluctance sensor as it is through a nonmagnetic interlayer.

[0013] Namely, a magnetic-reluctance sensor film equipped with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the magnetic-reluctance sensor by this invention is impressed, In a magnetic-reluctance sensor equipped with the electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film, and the flux guide for drawing the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium at a magnetic-reluctance sensor film The ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which a magnetic-reluctance sensor film is impressed is characterized by having combined with the flux guide in antiferromagnetism.

[0014] The magnetic-reluctance sensor film is arranged inside the element, without exposing to a medium opposite side, the end face was exposed to the medium opposite side, and the flux guide has extended across the position of a magnetic-reluctance sensor film in the element height direction.

[0015] The magnetic-reluctance sensor by this invention Moreover, a magnetic-reluctance sensor film equipped with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed, In a magnetic-reluctance sensor equipped with the electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film, and the flux guide for drawing the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium at a magnetic-reluctance sensor film The ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which a magnetic-reluctance sensor film is impressed is characterized by having combined with the flux guide in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys.

[0016] The flux-guide section can consist of magnetic films of one sheet. Moreover, a flux guide can also consist of the 1st flux-guide section and the 2nd flux-guide section. In this case, the 1st and 2nd flux-guide sections are made to continue in the element height direction from a medium opposite side, and are magnetically connected in the position which is distant from a medium opposite side in the element height direction from a magnetic-reluctance sensor film.

[0017] It is desirable to prepare the vertical bias impression layer for suppressing a Barkhausen noise in a flux guide. By preparing the vertical bias impression layer for suppressing a Barkhausen noise in a flux guide, a vertical bias magnetic field is impressed also to the ferromagnetic layer magnetically combined with the flux guide in antiferromagnetism in efficiency.

[0018] a vertical bias impression layer includes the field in which the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field impressed is in contact with the flux guide through the nonmagnetic interlayer -- or abbreviation -- in the same field, a laminating can be carried out to a flux guide and it can prepare Moreover, a vertical bias impression layer can be prepared in the ends of the direction of the width of recording track of a flux guide. When the flux guide consists of the flux-guide section of the above 1st, and the 2nd flux-guide section, you may prepare between the 1st flux-guide section and the 2nd flux-guide section.

[0019] A magnetic-reluctance sensor film is equipped with the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer by which the laminating was carried out through the tunnel barrier layer. The direction of magnetization can rotate according to the magnetic field impressed, and when the relative angle of the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer and the direction of magnetization of the ferromagnetic layer of the above 2nd changes, let the 1st ferromagnetic layer be the magnetic-reluctance sensor film of the type from which electric resistance changes. Electric resistance changes by the relative angle of the direction of magnetization of the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer of the 2nd ferromagnetic layer, the direction of magnetization of a certain angle of nothing and the 1st ferromagnetic layer, and the direction of magnetization of the 2nd ferromagnetic layer changing, when the magnetic field to which the direction of the magnetization rotates and is impressed according to the magnetic field to which the 1st ferromagnetic layer is impressed is zero.

[0020] The laminating of the two-layer ferromagnetic layer is carried out once [ at least ] or more through the nonmagnetic conductive layer at least, and a magnetic-reluctance sensor film is good also as a magnetic-reluctance sensor film of the type from which electric resistance changes, when the relative angle of the direction of



magnetization of the ferromagnetic layer which adjoins through a nonmagnetic conductive layer changes.

[0021] Moreover, as for the magnetic-reluctance sensor film, the laminating of the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer is carried out through the nonmagnetic conductive layer. According to the magnetic field impressed, the direction of magnetization rotates the 1st ferromagnetic layer, and the direction of magnetization of the 2nd ferromagnetic layer is restrained in the abbreviation element height direction. When the magnetic field impressed is zero, the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer the 2nd direction and a certain angle of magnetization of a ferromagnetic layer Nothing. When the relative angle of the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer and the direction of magnetization of the 2nd ferromagnetic layer changes, it can also consider as the magnetic-reluctance sensor film of the type from which electric resistance changes.

[0022] The magnetic-reluctance sensor film which has the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the magnetic head by this invention is impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on the aforementioned magnetic-reluctance sensor film. It is characterized by including the reproducing head equipped with the flux guide for having combined with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the aforementioned magnetic-reluctance sensor film is impressed in antiferromagnetism, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film.

[0023] The magnetic head by this invention Moreover, the magnetic-reluctance sensor film which the direction of magnetization rotates according to the magnetic field to which is equipped with the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer by which the laminating was carried out through the tunnel barrier layer, and the 1st ferromagnetic layer is impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film. It is characterized by including the reproducing head equipped with the flux guide for combining with the 1st ferromagnetic layer of a magnetic-reluctance sensor film in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to a magnetic-reluctance sensor film.

[0024] The magnetic head by this invention is equipped with the 1st ferromagnetic layer and the 2nd ferromagnetic layer by which the laminating was carried out through the nonmagnetic conductive layer again. The magnetic-reluctance sensor film from which electric resistance changes when the direction of magnetization rotates the 1st ferromagnetic layer according to the magnetic field impressed and the relative angle of the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer and the direction of magnetization of the 2nd ferromagnetic layer changes. The electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film. It is characterized by including the reproducing head equipped with the flux guide for combining with the 1st ferromagnetic layer of a magnetic-reluctance sensor film in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to a magnetic-reluctance sensor film.

[0025] It is desirable to prepare the vertical bias impression layer for suppressing a Barkhausen noise in a flux guide. As for the aforementioned magnetic head, it is desirable to have an induction-type thin film recording head as a recording head again.

[0026] In magnetic storage including the magnetic head which the magnetic recorder and reproducing device by this invention equips with a magnetic-recording medium, and the Records Department and the reproduction section, the driving means which make the magnetic head motion relatively to a magnetic-recording medium, and a record regenerative-signal processing means The magnetic-reluctance sensor film containing the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which the reproduction section of the magnetic head is impressed. The electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film. It is characterized by having a flux guide for combining with the ferromagnetic layer which the direction of magnetization rotates according to the size of the magnetic field to which a magnetic-reluctance sensor film is impressed in antiferromagnetism, and leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to the aforementioned magnetic-reluctance sensor film.

[0027] The magnetic-reluctance sensor by this invention Moreover, the magnetic-reluctance sensor film with which the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer were formed in order. In a magnetic-reluctance sensor equipped with the electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film, and the flux guide for drawing the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium at a magnetic-reluctance sensor film The 1st ferromagnetic layer and flux guide are characterized by being formed through the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr, Rh, Ir(s), or those alloys. Let a non-magnetic layer be a tunnel barrier layer.

[0028] The magnetic head by this invention Moreover, the magnetic-reluctance sensor film with which the 1st ferromagnetic layer, a non-magnetic layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer were formed in order. The electrode of the couple for passing signal-detection current on a magnetic-reluctance sensor film, and the flux guide for leading the magnetic leakage flux from a magnetic-recording medium to a magnetic-reluctance sensor film. It is characterized by having the nonmagnetic interlayer who consists of Ru, Cr(s), Rh(s) and Ir(s) which were formed between flux guides and the ferromagnetic layers of the above 1st concerned, or those alloys. Let a non-magnetic layer be a tunnel barrier layer.

[0029]

[Embodiments of the Invention] First, model calculation considered the difference in the case of having combined with the case where a flux guide and the 1st magnetic layer have joined together in ferromagnetism, in antiferromagnetism. The model of calculation rotates the magnetization of the 1st ferromagnetic layer 22 of a magnetic-reluctance sensor film which the magnetic flux from a medium invades into a flux guide 10 from the medium opposite side 1, and is carrying out (A) ferromagnetism combination and (B) antiferromagnetism combination through the flux guide 10 and the nonmagnetic interlayer 21, when there is no magnetic shielding since it is easy, as the \*\* type view is shown in the upper case of drawing 1. Thickness set 5.6nm and the 1st ferromagnetic layer 22 to 3.3nm for the flux guide 10, using CoFe as a two-layer ferromagnetic layer. In a ferromagnetic combination, in Ru:1.4nm and antiferromagnetism combination, the nonmagnetic interlayer 21 could be Ru:0.8nm. However, in the case of the above-mentioned example, the conditions from which it is not based on a concrete film material and thickness, but the same result will be obtained if the two-layer ferromagnetic layer is carrying out antiferromagnetism combination with a ferromagnetic combination, and the calculation result shown in drawing 1 is obtained are not limited.

[0030] The middle and the lower berth of drawing 1 </A> express qualitatively the angle of rotation of magnetization of



the 1st ferromagnetic layer 22 as the efficiency-amount of magnetization of the ferromagnetic on which the magnetic flux which invaded acts, respectively. Here, in a portion without the 1st ferromagnetic layer 22, although it is product  $B_s \cdot t$  of the saturation magnetic flux density  $B_s$  of a flux guide 10, and Thickness  $t$ , by the portion which the 1st ferromagnetic layer 22 has combined, the efficiency-amount of magnetization becomes the sum of  $B_s \cdot t$  of a flux guide 10, and that of the 1st ferromagnetic layer 22, when (A) ferromagnetism combination is being carried out, and when (B) antiferromagnetism combination is being carried out, it becomes these differences.

[0031] Therefore, since the amount of effective magnetization of the portion which the 1st ferromagnetic layer 22 has combined becomes small compared with the case where (A) ferromagnetism combination is being carried out when (B) antiferromagnetism combination is being carried out, the angle of the magnetization which rotates by the magnetic flux which has invaded becomes large, since a relative angle with magnetization of the fixed bed becomes large when the fixed bed is prepared, it considers as the GMR effect or the TMR effect and it observes, this shows that a big output is obtained

[0032] Next, the gestalt of operation of this invention is explained using a drawing.

The cross section of the magnetic-reluctance sensor which is the gestalt of 1 operation of this invention is shown in [gestalt 1 of operation] drawing 2. As for a medium opposite side and 100, in drawing, 1 is [the element height direction and 101] the directions of the width of recording track.

[0033] On a substrate (un-illustrating), the flux guide 10 which consists of nickel81Fe19 film of 10nm of thickness has been arranged between the up shield layer 11 which consists of nickel81Fe19 film, and the lower shield layer 12. The flux guide 10 is extended in the element height direction 100 from the medium opposite side 1, and is combined with the 1st ferromagnetic layer 22 which is the free layer of the GMR effect magnetic-reluctance sensor film in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer 21 who is the position distant from the medium opposite side, for example, consists of Ru of 0.8nm of thickness. Furthermore, the laminating of the 1st ferromagnetic layer 22 is carried out to the 2nd ferromagnetic layer 24 by which the direction of the magnetization is restrained by switched connection with the antiferromagnetism layer 25 through the nonmagnetic conductive layer 231. The GMR effect magnetic-reluctance sensor film is constituted by these 1st ferromagnetic layer 22, the nonmagnetic conductive layer 231, the 2nd ferromagnetic layer 24, and the antiferromagnetism layer 25.

[0034] In addition, all over drawing, although the ground layer 26 is formed in the bottom of the antiferromagnetism layer 25, if the switched connection between the 2nd ferromagnetic layer 24 and the antiferromagnetism layer 25 is enough to perform stable head operation, it is not necessary to form especially the ground layer 26. Moreover, between the flux guide 10 and the GMR effect magnetic-reluctance sensor film, and the up shield layer 11 and the lower shield layer 12, insulator layers, such as an aluminum oxide and a mixed film of a silicon oxide, are formed.

[0035] Although nickel-Fe, Co, Co-Fe, nickel-Fe-Co, and these cascade screens can be used for the 1st ferromagnetic layer 22 and the 2nd ferromagnetic layer 24, it is desirable to use material with many Co contents for an interface with the nonmagnetic conductive layer 231. Ag, Au, Cu(s), and these alloys can be used for the nonmagnetic conductive layer 231, and Ir-Mn, Mn-Pt, Mn-Pd-Pt, and nickel-Mn can be used for the antiferromagnetism layer 25.

[0036] Although the thickness which can use Cr, Rh, Ir(s), and those alloys besides Ru, and antiferromagnetism combination produces in such material as the nonmagnetic interlayer's 21 material changes with material, it is the range of 0.4 to 5nm in general. When such material is used for an interlayer, the combination between the two-layer ferromagnetic layers of the upper and lower sides is ferromagnetic joint → antiferromagnetism joint → ferromagnetism joint → antiferromagnetism joint → to interlayer thickness... Vibrating is known. About the cause, although it is not clear, it is said that it is a Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida interaction (RKKY interaction).

[0037] With the GMR effect magnetic-reluctance sensor film and the vertical bias impression layer (drawing 8, nine references) which formed the CoCrPt film on Cr ground film to the ends of the direction 101 of the width of recording track of a flux guide 10, further, the electrode which consists of Ta through TaW on it is prepared, and the GMR effect magnetic-reluctance sensor which operates stably is obtained.

[0038] Thus, if an electrode is prepared in the direction of the width of recording track of a flux guide 10, since sense current will shunt also toward a flux-guide film and an output will decline, you may use the discontinuous multilayer of the magnetic substance and an oxide, for example, 10:1.5 nm Co90Fe and a silicon-oxide:1.0nm multilayer, for a flux guide 10. The discontinuous multilayer of this magnetic substance and an oxide is the sputtering method, prepares a magnetic-substance target and an oxide target, and is obtained by forming membranes by turns to a substrate. Although it will become a continuation film in a thin film if thickness is thick, since it will become the discontinuous film called island-like structure if thin, a discontinuous multilayer can be created using this.

[0039] In addition, the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer 22 which is a free layer, and the 2nd ferromagnetic layer 24 which is the fixed bed performed and controlled the following heat treatments, after the membrane formation process of a reproduction element was completed (after forming the up shield layer 11), first, the element height direction from the temperature more than temperature T1 (T1 changes with antiferromagnetism material) which switched connection produces between the antiferromagnetism layer 25 and the 2nd ferromagnetic layer 24 — a maximum of 15 [for example,] — it cools, carrying out a temperature up to the temperature not more than T1, and impressing the magnetic field of 1kOe in the direction of the width of recording track, after cooling among a magnetic field, impressing the magnetic field of kOe(s) Thereby, the direction of magnetization of the direction of magnetization of the 1st ferromagnetic layer 22 of the 2nd ferromagnetic layer 24 in the direction of the abbreviation width of recording track can be turned in the abbreviation element height direction.

[0040] Production of the record element which consists of a magnetic core of the couple by which the laminating was carried out through the record gap on the above magnetic-reluctance sensors obtains the magnetic head used for a magnetic recorder and reproducing device. Reproducing characteristics were evaluated about the produced magnetic head. The magnetic head of the example 1 of comparison which the magnetic-reluctance sensor film has exposed to the medium opposite side 1 for comparison (structure without a flux guide 10), And the magnetic head of the example 2 of comparison which a flux guide 10 and the 1st ferromagnetic layer 22 have combined in ferromagnetism (the nonmagnetic interlayer's 21 thickness is set to Ru:1.4nm) Except having carried out ferromagnetic combination of a flux guide 10 and the 1st ferromagnetic layer 22, the magnetic head of the gestalt 1 of operation and the same head were also produced, and same evaluation was performed. In addition,  $B_s \cdot t$  of a flux guide 10 made 10 nm-T and  $B_s \cdot t$  of the 1st ferromagnetic layer 22 6 nm-T.

[0041] The result which measured the head output about the magnetic head of this invention, the magnetic head of the example 1 of comparison, and each 30 magnetic heads of the example 2 of comparison is shown in Table 1. Evaluation of reproducing characteristics measured the reproduction wave by 18nm of magnetic flying heights using the head





which created the pattern which coercive force  $H_c$  recorded on the CoCrPt system magnetic-recording medium by which 4000Oe(s) and amount  $M_r \cdot t$  of magnetization have the property of 0.4 T-nm by the recording density of 2 (0.010Gb/mm<sup>2</sup>) about 6.7 Gb(s)/inch. Here,  $M_r$  is the residual magnetization of medium material,  $t$  is thickness, and the magnetic flying height is an interval with the nose of cam of a magnetic-reluctance sensor film of the CoCrPt layer front face of a medium, and the medium opposite side of the reproducing head.

[0042]

[Table 1]

ヘッドNo.	本発明のヘッド の出力( $\mu$ V)	磁気抵抗センサ膜が媒 体対向面に露出してい るヘッドの出力( $\mu$ V)	磁束ガイドと第1の強磁性層 が強磁性的に結合している ヘッドの出力( $\mu$ V)
1	1280	1350	420
2	1370	1250	450
3	1330	1450	430
4	1350	1350	440
5	1360	1360	450
6	1280	1280	440
7	1370	1450	410
8	1270	1270	420
9	1250	1180	450
10	1280	1280	440
11	1300	1440	410
12	1330	1280	430
13	1290	1300	420
14	1280	1310	440
15	1310	1290	450
16	1350	1280	430
17	1320	1220	420
18	1260	1350	440
19	1350	1340	450
20	1340	1350	420
21	1250	1290	440
22	1280	1300	420
23	1280	1280	420
24	1320	1420	440
25	1300	1300	430
26	1270	1370	440
27	1320	1340	430
28	1300	1350	450
29	1360	1200	430
30	1300	1280	440
平均値	1310	1320	430
ばらつき	$\pm 4.8\%$	$\pm 10.6\%$	$\pm 4.6\%$

[0043] When the average of the reproduction output of the measured magnetic head was compared, the output with a magnetic-reluctance sensor film almost equivalent [ the magnetic head of this invention ] to the magnetic head exposed to a medium opposite side was obtained, and, as for the magnetic head for comparison which a flux guide 10 and the 1st ferromagnetic layer 22 have combined in ferromagnetism, only about 30% of output of the magnetic head of this invention was obtained. Moreover, when the magnetic head of this invention is compared with the magnetic head for comparison which the magnetic-reluctance sensor film has exposed to a medium opposite side, \*\*10.6% and dispersion of the latter are large about dispersion in a reproduction output, to the former being \*\*4.8%. If the magnetic-reluctance sensor film is exposed to a medium opposite side, that dispersion becomes large in the latter. Element height varies by dispersion in processing of a medium opposite side, and (1) element resistance changes by that cause, (2) The balance of three magnetic fields (the static magnetic field from the fixed bed, the layer joint magnetic field of the fixed bed and a free layer, magnetic field that sense current makes) which acts on a free layer collapses, and stopping-being in proper bias state \*\* is the cause. On the other hand, even if processing of a medium opposite side differs in the magnetic head of this invention, although the length by the side of a medium opposite side changes rather than the magnetic-reluctance sensor film of a flux guide 10, since the element height of a magnetic-reluctance sensor film does not change, element resistance and a bias state hardly change. Therefore, by this invention, it is a reproduction output with a magnetic-reluctance sensor film equivalent to the magnetic head exposed to a medium opposite side, and the small magnetic head of property dispersion can be produced.

[0044] In the gestalt 1 of the [gestalt 2 of operation] operation, although the flux guide consists of only flux guides 10, as shown in drawing 3, a flux guide may consist of two portions, the 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111. In the 1st ferromagnetic layer (free layer) 22 of the GMR effect magnetic-reluctance sensor film, it has joined together in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer 21 in a part of 1st flux-guide section 110. The 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111 have touched in the position which extended far back in the element height direction more rather than the position where the GMR effect magnetic-reluctance sensor film is arranged, these flux-guide sections 110,111 form the magnetic circuit, and the magnetic field which invaded from the medium passes along with a magnetic circuit.

[0045] If it is made such composition, since a wave which differentiated the wave reproduced by the magnetic-reluctance sensor of the gestalt 1 of operation will be acquired, it is suitable for reproduction of vertical recording. The reproduction wave when reproducing by the magnetic-reluctance sensor of the gestalt of this operation which showed structure to a reproduction wave and drawing 3 when recording density is reproduced by the magnetic-reluctance sensor of the gestalt 1 of operation of a low solitary wave to drawing 17 is shown. If the medium by which vertical recording was carried out is reproduced by the magnetic head which has the flux guide 10 of one sheet like drawing 2, the reproduction wave (\*\*\*\*\* wave) which has a peak in positive/negative like drawing 17 (b) will be acquired. Since the signal-processing system of the present magnetic disk unit is designed so that a peak may process the single \*\*\*\*\* wave in which only one appears, it is necessary to prepare a differential circuit separately for



processing this regenerative signal. However, if it reproduces by the magnetic head which has the flux-guide section 110,111 of two sheets like drawing 3, since a single \*\*\*\* wave like drawing 17 (a) is acquired and it is not necessary to newly design / produce a signal-processing system, it is suitable for vertical recording.

[0046] Moreover, you may arrange the GMR effect magnetic-reluctance sensor film like drawing 4 the 1st flux-guide section 110 and inside the magnetic circuit which the 2nd flux-guide section 111 forms. The structure which forms the 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111 between the up shield layer 11 shown in drawing 3, and the GMR effect magnetic-reluctance sensor film. Although production is easy compared with the structure which arranges the GMR effect magnetic-reluctance sensor film inside the magnetic circuit which the 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111 which were shown in drawing 4 form. Since the interval between the up shield layer 11 and the lower shield layer 12 cannot be narrowed, it becomes difficult to produce the head for high recording density. on the other hand, although production is difficult, since only the part by which the GMR effect magnetic-reluctance sensor film is arranged in the flux guide can make thin thickness of a (GMR effect magnetic-reluctance sensor film + flux guide), the structure shown in drawing 4 has the advantage that the interval between the up shield layer 11 and the lower shield layer 12 can be narrowed.

[0047] Here, since sense current is passed in a film surface in the case of the GMR effect magnetic-reluctance sensor, sense current shunts also toward the 1st and 2nd flux-guide sections 110,111 which are in contact with this, and an output declines. Therefore, it is desirable to form these by a soft-magnetism film with high electric resistance, for example, the discontinuous multilayer of the above magnetic substance and an oxide.

[0048] [Gestalt 3 of operation] drawing 5 is drawing showing the fundamental composition of the magnetic-reluctance sensor which is the gestalt of other operations of this invention. With the gestalt of this operation, the TMR effect film is used as a magnetic-reluctance sensor film. Like the gestalt 1 of operation, the flux guide 10 is arranged between the up shield layer 11 and the lower shield layer 12, and a flux guide 10 is formed to the back rather than the position in which the TMR effect magnetic-reluctance sensor film of the element height direction 100 is prepared from the medium opposite side 1. Magnetization of the 1st ferromagnetic layer 22 which is the free layer of a TMR magnetic-reluctance sensor film is combined with magnetization of a flux guide 10 in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer 21. Furthermore, the laminating of the 1st ferromagnetic layer 22 is carried out to the 2nd ferromagnetic layer 24 by which the direction of the magnetization is restrained by switched connection with the antiferromagnetism layer 25 through the tunnel barrier layer 232. The TMR effect magnetic-reluctance sensor film is constituted by these 1st ferromagnetic layer 22, the tunnel barrier layer 232, the 2nd ferromagnetic layer 24, and the antiferromagnetism layer 25.

[0049] Although the ground layer 26 is formed in the bottom of the antiferromagnetism layer 25, if the switched connection between the 2nd ferromagnetic layer 24 and the antiferromagnetism layer 25 is enough to perform stable head operation, it is not necessary to form especially the ground layer 26. However, in order to pass sense current in the direction of thickness of the TMR effect magnetic-reluctance sensor film, the lower electrode 32 is connected to the ground layer 26. Therefore, the ground layer 26 also has a role of a part of electrode, and also has the role which adjusts the interval of the up shield layer 11 and the lower shield layer 12 by the thickness of the sum total of the ground layer 26 and the lower electrode 32 further. Furthermore, it connects with the lower shield layer 12, and the lower electrode 32 uses the lower shield layer 12 as a part of lower electrode. On the other hand, the up electrode 31 is connected to a part of flux guide 10.

[0050] Although nickel-Fe, Co, Co-Fe, nickel-Fe-Co, and these cascade screens can be used for the 1st ferromagnetic layer 22 and the 2nd ferromagnetic layer 24 like the gestalt 1 of operation, it is desirable to use material with large spin polarizability for an interface with the tunnel barrier layer 232. Ir-Mn, Mn-Pt, Mn-Pd-Pt, and nickel-Mn can be used for the antiferromagnetism layer 25. Moreover, as the nonmagnetic interlayer's 21 material, Ru, Cr, Rh, Ir(s), and those alloys can be used, and the range of the thickness is 0.4 to 5nm in general. Being able to use for the tunnel barrier layer 232 the oxides and those mixture of the metal chosen from the group of aluminum, Si, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Hf, and Ta, thickness is 0.5nm to 3.0nm.

[0051] In addition, between the flux guide 10, the TMR effect magnetic-reluctance sensor film and the up electrode 31, and the up shield layer 11, the lower shield layer 12 and the lower electrode 32, insulator layers, such as an aluminum oxide and a mixed film of a silicon oxide, are formed. The lower shield layer 12 does not necessarily need to make an electrode serve a double purpose, and can connect the up electrode 31 to the up shield layer 11, and can also use the up shield layer 12 as a part of electrode.

[0052] With above-mentioned structure, although the lower electrode 32 is arranged between the TMR effect magnetic-reluctance sensor film and the lower shield layer 12, as shown in drawing 6, the lower electrode 32 may be arranged near the TMR effect magnetic-reluctance sensor film on the lower shield layer 12, and further especially a lower electrode may not be prepared, but the lower shield layer 12 may be used also [electrode].

[0053] As shown in drawing 5 and 6, the magnetic-reluctance sensor using the TMR effect magnetic-reluctance sensor film. Magnetization of the 1st ferromagnetic layer 22 which is the free layer of the TMR effect magnetic-reluctance sensor film is combined with magnetization of a flux guide 10 in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer 21. By adopting the structure which has arranged the TMR effect magnetic-reluctance sensor film inside a sensor, there are the following merits compared with the magnetic-reluctance sensor which the TMR effect magnetic-reluctance sensor film exposed to the medium opposite side. Namely, although an output stops coming out in the case of the TMR effect magnetic-reluctance sensor film when it connects too hastily, in case the 1st ferromagnetic layer 22 located in the upper and lower sides of the tunnel barrier layer 232 and the 2nd ferromagnetic layer 24 are lap processings of the medium opposite side 1. With the structure shown in drawing 5 or drawing 6, since a flux guide 10 is deleted in the case of lap processing and the TMR effect magnetic-reluctance sensor film is not shaved at all, the defect accompanying processing can be reduced considerably.

[0054] Next, the structure for impressing a vertical bias magnetic field using drawing 7 - drawing 9 is explained. Drawing 5 or drawing 6 has been foundations, and these establish the structure for impressing a vertical bias magnetic field to it. In addition, in drawing, the nonmagnetic interlayer 21 is a fragmentary sectional view about the \*\*\*\* [it] with the bird's-eye view.

[0055] In the magnetic-reluctance sensor which prepared the flux guide, although the Barkhausen noise of the free layer of a magnetic-reluctance sensor film is naturally suppressed, in addition since a free layer gathers as a signal the noise generated by the flux-guide film as it is, it is necessary to impress a vertical bias magnetic field also to a flux guide. In this invention, since the 1st magnetic layer 22 and flux guide 10 which are a free layer have joined together in antiferromagnetism, a vertical bias magnetic field will be impressed to both by establishing the structure for impressing



a vertical bias magnetic field to either.

[0056] Drawing 7 is the structure which carried out the laminating of the vertical bias impression layer 33 on the flux guide 10, and drawing 8 and drawing 9 are the structures which formed the vertical bias impression layer 33 in the ends and both the sides of a flux guide 10. Also in which structure, the Barkhausen noise of both a flux guide 10 and the 1st ferromagnetic layer 22 can be suppressed.

[0057] Permanent magnet material can be used as a vertical bias impression layer 33. Typically, the CoCrPt film should be formed on Cr ground. In addition, you may use CoCrTa, CoPt, CoCrPtTa, and the material that added ZrO<sub>2</sub>, aluminum 2O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, etc. to these. Although thickness of the vertical bias impression layer 33 can be made into the range of 8–120nm according to the value of the thickness of a free layer, and the residual magnetic flux density of permanent magnet material etc., it is 30–40nm typically. magnetic properties — typical — coercive force H<sub>c</sub>:2000Oe, residual magnetic flux density Br:0.8T, and a square shape ratio — although it is Br/B<sub>s</sub>:0.85, it is not limited to this. The direction of magnetization is the direction of the width of recording track.

[0058] In addition, although the case where the vertical bias impression layer 33 was formed in the flux guide of a magnetic-reluctance sensor which used the TMR effect film as a magnetic-reluctance sensor film here was explained. A vertical bias impression layer can be prepared in the flux guide of the magnetic-reluctance sensor using the GMR effect magnetic-reluctance sensor film shown in drawing 2 as well as [completely] drawing 7 – drawing 9. The Barkhausen noise of both 1st free layer 22 of a flux guide 10 and the GMR effect magnetic-reluctance sensor film can be suppressed by it.

[0059] With the gestalt 3 of the [gestalt 4 of operation] operation, although the flux guide is constituted by the flux guide 10 of one sheet, as shown in drawing 10, it may constitute a flux guide from two portions, the 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111. In the 1st ferromagnetic layer 22 of the TMR effect magnetic-reluctance sensor film, it has joined together in antiferromagnetism through the nonmagnetic interlayer 21 in a part of 1st flux-guide section 110. The 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111 have touched in the position which extended far back in the element height direction more rather than the position where the TMR effect magnetic-reluctance sensor film is arranged, these flux-guide sections 110,111 form the magnetic circuit, and the magnetic field which invaded from the medium passes along with a magnetic circuit. Such composition is suitable for reproduction of vertical recording. In addition, arrangement of the up electrode 31 and the lower electrode 32 will not necessarily be the limitation of this view, if sense current can be supplied in the direction of thickness of the TMR effect magnetic-reluctance sensor film.

[0060] The structure which prepared the vertical bias impression layer in the flux guide which consists of two portions, the 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111, is shown in drawing 11 – drawing 13. In drawing 11, the vertical bias impression layer is prepared in the portion pinched by the 1st flux-guide section 110 and the 2nd flux-guide section 111, and it is possible for this to suppress the Barkhausen noise of the 1st ferromagnetic layer 22 which is the free layer of the two flux-guide sections and TMR effect magnetic-reluctance sensor films. In drawing 12, the nonmagnetic gap layer 35 is formed in the portion pinched in the two flux-guide sections 110 and 111, and the vertical bias impression layer 33 of a couple is arranged by both side of the two flux-guide sections 110 and 111 and nonmagnetic gap layers 35. Moreover, drawing 13 arranges each one pair of vertical bias impression layers 330 and 331 by each side of both of the two flux-guide sections 110 and 111. Also in which structure, the Barkhausen noise of the 1st flux-guide section 110, the 2nd flux-guide section 111, and the 1st free layer 22 can be suppressed.

[0061] The merit of the structure of drawing 11 is being able to carry out pattern formation in once, after forming a flux guide 110, the vertical bias impression layer 33, and a flux guide 111. However, since the material which constitutes a flux guide 110 is generally face-centered cube (FCC) structure, when a permanent magnet film (vertical bias impression layer) is formed on it, there is a demerit that big coercive force is hard to be obtained. The structure shown in drawing 12 or drawing 13 cancels this difficulty. What is necessary is just to form the vertical bias impression layer 330,331 in two flux guides 110 and 111 separately like [in such a case] drawing 13 with the structure of drawing 12, respectively, since there is a possibility that the thickness of the vertical bias impression layer 33 may become thick, and a bigger vertical bias magnetic field than required may occur, although there is a fault to which, as for the structure of drawing 13, a process becomes complicated compared with the structure of drawing 12.

[0062] Moreover, as shown in drawing 14, the TMR effect magnetic-reluctance sensor film can also be arranged the 1st flux-guide section 110 and inside the magnetic circuit which the 2nd flux-guide section 111 forms. However, it is necessary to form the 2nd flux-guide section by a soft-magnetism film with high electric resistance, for example, the discontinuous multilayer of the magnetic substance and an oxide, so that sense current may not connect with the lower electrode 32 too hastily through the 2nd flux-guide section 111 in this case from the up electrode 31. About the vertical bias impression layer in this structure, it is desirable like drawing 13 to arrange a vertical bias impression layer in each of two flux-guide sections. Moreover, if the structure shown in drawing 14 is adopted, the interval of the up shield layer 11 and the lower shield layer 12 can be narrowed like the relation between drawing 3 and drawing 4.

[0063] In addition, although the gestalt of this operation explained the case where a vertical bias impression layer was prepared in the flux guide of a magnetic-reluctance sensor which used the TMR effect film as a magnetic-reluctance sensor film. A vertical bias impression layer can be prepared in the flux guide of the magnetic-reluctance sensor using the GMR effect magnetic-reluctance sensor film shown in drawing 3 or drawing 4 as well as [completely] drawing 11 – drawing 13. The Barkhausen noise of both 1st ferromagnetic layer 22 of a flux guide 10 and the GMR effect magnetic-reluctance sensor film can be suppressed by it.

[0064] [Gestalt 5 of operation] drawing 15 is the partial cross-section perspective diagram showing the structure of the magnetic head by this invention. If the record element 3 which consists of a coil 16 interlinked with the magnetic core and magnetic core of the couple of the lower magnetic pole 14 and the up magnetic pole 13 is formed on it, using the magnetic-reluctance sensor using the magnetic-reluctance sensor film shown in the gestalt of the above-mentioned implementation as a reproduction element 2 as shown in drawing 15, the magnetic head corresponding to higher recording density can be offered.

[0065] Moreover, if such the magnetic head is used, the magnetic recorder and reproducing device which has high recording density can be offered. Drawing 16 is the schematic diagram of the gestalt of the 1 operation. The magnetic recorder and reproducing device has the magnetic-recording medium 201 which records information magnetically, the motor 202 made to rotate this, the writing of the information on the magnetic-recording medium 201 and the magnetic head 203 which performs read-out, the suspension 204 supporting this, the actuator 205 that performs positioning of the magnetic head, the read/write circuit 206 which processes information (record regenerative signal). If the magnetic head shown in drawing 15 is used as the magnetic head 203, the magnetic recorder and reproducing device of high



recording density is realizable.

[0066] Moreover, disk array equipment can be constructed by combining two or more above-mentioned magnetic recorder and reproducing devices. In this case, since two or more magnetic recorder and reproducing devices are treated simultaneously, an informational throughput can be made quick and the reliability of equipment can be raised.

[0067] It is a book, even if it makes it the structure which carries out the laminating of the 1st ferromagnetic layer which is a free layer, a nonmagnetic conductive layer or a tunnel barrier layer, the 2nd ferromagnetic layer, and the antiferromagnetism layer through a nonmagnetic interlayer on a flux guide, although the flux guide is prepared on the magnetic-reluctance sensor film with the gist of the above operation. Moreover, it is the same, even if it prepares a reproduction element on it, after forming a record element.

[0068]

[Effect of the Invention] According to this invention, high stability can be acquired by aiming at improvement in sensitivity and impressing a vertical bias magnetic field to both free layers of a flux-guide film and a magnetic-reluctance sensor film by combining a flux guide and a free layer in antiferromagnetism in the structure using a flux guide, without not exposing magnetic-reluctance sensor films, such as a GMR effect film and a TMR effect film, to a medium opposite side.

---

[Translation done.]





\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing showing the result of the model calculation which shows the difference between the conventional technology and this invention.

[Drawing 2] The cross section of an example of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 3] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 4] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 5] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 6] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 7] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 8] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 9] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 10] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 11] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 12] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 13] The cross section of other examples of the magnetic-reluctance sensor by this invention.

[Drawing 14] Drawing showing other cross-section structures in the magnetic-reluctance sensor of the gestalt 4 of operation of this invention.

[Drawing 15] The bird's-eye view and fragmentary sectional view showing the structure of the magnetic head of this invention.

[Drawing 16] The schematic diagram of the magnetic recorder and reproducing device of this invention.

[Drawing 17] Explanatory drawing of the reproduction wave of a solitary wave.

### [Description of Notations]

A medium opposite side, 2: reproduction element, 3: record element, 10 : 1: A flux-guide film, 110: — the 1st flux-guid section and 111: — the 2nd flux-guide section and a 11:up shield layer — 12: A lower shield layer, a 13:up magnetic pole, a 14:lower magnetic pole, 15 : A magnetic-reluctance sensor film, 16: — a coil, a 21:nonmagnetic interlayer, and 22: — the 1st ferromagnetic layer and a 231:nonmagnetic conductive layer — 232: A tunnel barrier layer, 24 : The 2nd ferromagnetic layer, 25:antiferromagnetism layer, 26:ground layer, a 31:up electrode, a 32:lower electrode, 33:length bias impression layer, and 330: — the 1st vertical bias impression layer and 331: — the 2nd vertical bias impression layer, a 35:nonmagnetic gap layer, the 100:element height direction, and the direction of the 101:width of recording track

---

[Translation done.]



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-291214

(P2001-291214A)

(43) 公開日 平成13年10月19日 (2001. 10. 19)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
G 1 1 B 5/39		G 1 1 B 5/39	2 G 0 1 7
G 0 1 R 33/09		H 0 1 F 10/14	5 D 0 3 4
H 0 1 F 10/14		10/16	5 E 0 4 9
10/16		H 0 1 L 43/08	Z
H 0 1 L 43/08		G 0 1 R 33/06	R
審査請求 有 請求項の数14 O L (全 14 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-104359(P2000-104359)

(22) 出願日 平成12年4月6日 (2000. 4. 6)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成11年度新エネルギー・産業技術総合開発機構 (再) 委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 渡辺 克朗

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 川戸 良昭

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100091096

弁理士 平木 祐輔

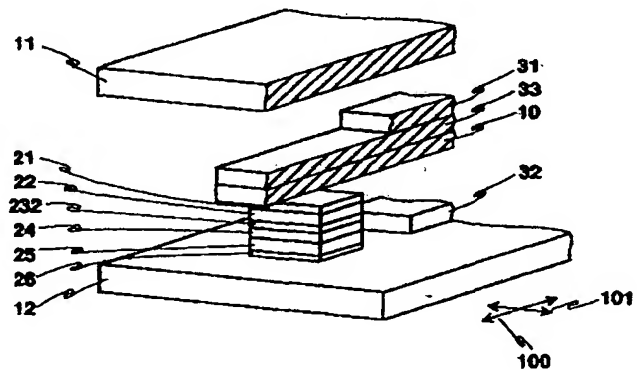
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗センサ並びにこれを用いた磁気ヘッド及び磁気記録再生装置

## (57) 【要約】

【課題】 GMR効果膜又はTMR効果膜の磁気抵抗センサ膜と磁束ガイドを用いた磁気抵抗センサにおいて、高い感度と高い安定性を確保する。

【解決手段】 磁束ガイド10の磁化と、GMR効果或いはTMR効果磁気抵抗センサ膜の自由層である第1の強磁性層22とを、非磁性中間層21を介して反強磁性的に結合させる。磁気抵抗センサ膜が配置されている部分の実効的な磁化量が小さくなっているため、磁束ガイド10によって導かれた磁界によって回転する第1の強磁性層22の磁化の角度が大きくなるので、高い感度が得られる。磁束ガイド10に縦バイアス印加層33を設けると、磁束ガイド10と反強磁性的に結合している第1の強磁性層22にも縦バイアス磁界が印加されるので、磁束ガイド10と第1の強磁性層22の両方のパルクハウゼンノイズを抑制できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を備える磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える磁気抵抗センサにおいて、前記磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層は、前記磁束ガイドと反強磁性的に結合していることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項2】 印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を備える磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える磁気抵抗センサにおいて、前記磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層は、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して、前記磁束ガイドと反強磁性的に結合していることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項3】 請求項1又は2記載の磁気抵抗センサにおいて、前記磁束ガイドは第1の磁束ガイド部と第2の磁束ガイド部とからなり、前記第1及び第2の磁束ガイド部は、前記媒体対向面から素子高さ方向に連続しており、前記磁気抵抗センサ膜よりも素子高さ方向に前記媒体対向面から離れた位置において磁氣的に接続していることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の磁気抵抗センサにおいて、前記磁束ガイドにバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層が設けられていることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか1項記載の磁気抵抗センサにおいて、前記磁気抵抗センサ膜は、トンネル障壁層を介して積層された第1の強磁性層と第2の強磁性層とを備え、前記第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転し、前記第1の強磁性層の磁化の方向と前記第2の強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化することを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項6】 印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を有する磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層と反強磁性的に結合して前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える再生ヘッドを含むことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項7】 トンネル障壁層を介して積層された第1

の強磁性層と第2の強磁性層とを備え、前記第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転する磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して前記磁気抵抗センサ膜の前記第1の強磁性層と反強磁性的に結合し前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える再生ヘッドを含むことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項8】 非磁性導電層を介して積層された第1の強磁性層と第2の強磁性層とを備え、前記第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転し、前記第1の強磁性層の磁化の方向と第2の強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化する磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して前記磁気抵抗センサ膜の前記第1の強磁性層と反強磁性的に結合し前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える再生ヘッドを含むことを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項9】 請求項6、7又は8記載の磁気ヘッドにおいて、前記磁束ガイドにバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層が設けられていることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項10】 磁気記録媒体と、記録部と再生部とを備える磁気ヘッドと、前記磁気ヘッドを前記磁気記録媒体に対して相対運動させる駆動手段と、記録再生信号処理手段とを含む磁気記憶装置において、前記磁気ヘッドの再生部は、印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を含む磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層と反強磁性的に結合し前記磁気記録媒体からの漏洩磁束を前記磁気抵抗センサ膜に導くための磁束ガイドとを備えることを特徴とする磁気記録再生装置。

【請求項11】 第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層及び反強磁性層が順に形成された磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える磁気抵抗センサにおいて、

前記第1の強磁性層と前記磁束ガイドは、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して形成されていることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項12】 請求項11記載の磁気抵抗センサにおいて、前記非磁性層はトンネル障壁層であることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項13】 第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層及び反強磁性層が順に形成された磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドと、当該磁束ガイドと前記第1の強磁性層との間に形成されたRu、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層とを備えることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項14】 請求項13記載の磁気ヘッドにおいて、前記非磁性層はトンネル障壁層であることを特徴とする磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気に感応する磁気抵抗センサ、その磁気抵抗センサを再生素子として用いて磁気的に記録された情報を再生する磁気ヘッド、及び磁気記録再生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】磁気記録再生装置、特に磁気ディスク装置における記録密度の向上は著しく、磁気ディスク装置のキー・デバイスである再生ヘッドには高い再生出力が要求されている。高記録密度において高い再生出力を得るために、磁気ディスクと磁気ヘッドの間の間隔（ヘッド浮上量）が小さくなっている。現在のヘッド浮上量は約30nm程度であるが、今後はさらに小さくなり、磁気ヘッドが磁気ディスクとほとんど接触に近い状態で浮上している疑似コンタクト状態、あるいは接触しているコンタクト状態になることが考えられる。その場合、磁気ヘッドの媒体対向面に再生素子であるGMR効果膜が露出していると、摩擦によるGMR効果膜の損傷が起こることが考えられる。これを回避する方法として、例えば特開平10-334418号公報には、媒体対向面から素子高さ方向に伸びた磁束ガイドを設けた磁気ヘッドが開示されている。この磁気ヘッドにおいては、外部磁界に応じてその磁化方向が変化するGMR効果膜の強磁性層（自由層）が磁束ガイドの一部分上に直接積層されて、自由層の磁化が磁束ガイドの磁化と磁気的に強磁性的に結合している。

【0003】また、磁気抵抗センサ膜においても高出力化の検討が行われている。近年では、再生ヘッドとして磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗効果型（MR）ヘッドが用いられている。数Gb/in<sup>2</sup>程度の記録密度においては、異方性磁気抵抗効果（AMR効果）を利用したMRヘッド（AMRヘッド）が用いられたが、それ以上の記録密度においてはAMR効果では感度不足になるため、巨大磁気抵抗効果（GMR効果）を利用したMRヘッド（GMRヘッド）が用いられている。

【0004】しかしながら、今後さらに記録密度を向上させるためには、現在以上にさらに大きな再生出力が必要となる。そのため、GMR効果膜に代わる新しい磁気

抵抗効果膜の研究開発が盛んに行われているが、その有力な候補の一つとして、2層の強磁性層の間にトンネル障壁層が挟まれた強磁性トンネル磁気抵抗効果（TMR効果）膜が注目されている。TMR効果膜については、例えば、1995年発行のジャーナル・オブ・マグネティズム・アンド・マグネティック・マテリアルズ、第139巻、L231～L234頁に、2層のFe層の間にAl酸化膜を挟んだ構成において、室温で約18%の抵抗変化率が得られたと報告されている。また、特開平3-154217号公報には、TMR効果膜を磁気抵抗センサ膜として用いたMRヘッドが開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】特開平10-334418号公報は、外部磁界に応じてその磁化方向が変化するGMR効果膜の強磁性層（自由層）を磁束ガイド膜の一部分上に直接積層することにより、自由層の磁化が磁束ガイドの磁化と磁気的に結合しているGMR効果ヘッドを開示しているが、この場合の磁気的な結合は強磁性的な結合である。この構造においては、媒体からの磁界に応じて磁束ガイドの磁化が回転し、それによって、磁束ガイドの磁化と強磁性的に結合した自由層の磁化も回転して、外部磁界によって磁化方向が変化しないGMR効果膜の強磁性層（固定層）の磁化との相対的な角度が変わり抵抗変化を生ずるものである。しかし、抵抗変化を生ずる源となる磁束ガイドと自由層が強磁性的に結合している部分においては、実効的な磁化量が大きいために、磁束ガイドにおいて自由層が存在しない部分に比べて磁化が回転しにくくなり、その結果として感度が低下し、再生出力を向上させることが困難であるという問題がある。

【0006】ところで、TMR効果膜をMRヘッドに適用するためには、解決すべき問題がある。AMR効果及びGMR効果を利用したMRヘッドの磁気抵抗センサ膜の構成は、それぞれ例えば、横バイアス印加層／非磁性導電層／AMR強磁性層、自由層／非磁性導電層／固定層／反強磁性層であり、一般的には全ての層が金属膜で構成されている。一方、TMR効果膜においては、基本的な構成は自由層／トンネル障壁層／固定層であり、このうちトンネル障壁層は厚さが数nm以下の金属酸化膜である。TMR効果は、このトンネル障壁層を介した強磁性層の間の電子のトンネル効果により生じるものであるため、ヘッド作製プロセスにおいてトンネル障壁層が短絡しないように作製する必要があり、自由層のバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層の配置や作製プロセスなどに、従来のMRヘッドとは異なるTMRヘッド特有の技術が要求される。

【0007】前述のジャーナル・オブ・マグネティズム・アンド・マグネティック・マテリアルズ、第139巻、L231～L234頁及び特開平3-154217号公報には、安定なヘッド動作に必要な不可欠な縦バイア

ス印加層に関する記述はない。

【0008】また、現在MRヘッドに用いられているA MR効果膜やGMR効果膜は、これらの膜の膜面内方向にセンス電流を流して磁界を検出するのに対して、TMR効果膜の場合は、膜面に対して垂直方向にセンス電流を流して検出を行うため、素子サイズが小さくなるに従って、TMR効果素子の抵抗は増大し、これによりノイズが増加するという問題がある。

【0009】さらに、従来のMRヘッドのように磁気抵抗センサ膜を媒体対向面に露出した構造にすると、媒体対向面のラップ加工時に、トンネル障壁層の上下の2層の強磁性層が短絡する恐れがあり、極めて精緻な加工技術が必要となるという問題もある。

【0010】これらの問題は、特開平10-334418号公報に開示されている構造をTMR効果膜に適用すると、素子サイズを大きくすることができるので素子抵抗を小さくすることができ、さらに、媒体対向面には障壁層が露出しないので短絡の心配はないので、解決できると考えられるが、前述のように感度が低下するという問題がある。

【0011】本発明の目的は、GMR効果膜及びTMR効果膜などの磁気抵抗センサ膜を媒体対向面に露出させずに磁束ガイドを用いる構造において、感度の向上を図り、かつ、磁束ガイド及び磁気抵抗センサ膜の自由層の両方に縦バイアス磁界を印加することにより、高い感度と高い安定性を有する磁気抵抗センサを提供することにある。本発明の他の目的は、高い感度と高い安定性を有する磁気抵抗センサを再生素子として用いた高感度磁気ヘッド及びその磁気ヘッドを搭載した高記録密度の磁気記録再生装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では次のような磁気抵抗センサの構造を採用する。まず、高い感度を得るために、磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドと、磁気抵抗センサ膜を構成する複数の磁性層のうちで印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する第1の強磁性層（自由層または自由層が積層構造の場合は中間層と接している層）とを、非磁性中間層を介して反強磁性的に結合させる構造を採用した。また、高い安定性を実現するために、磁束ガイドにバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層を設ける構造を採用した。磁束ガイドと磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層が反強磁性的に結合していると、磁束ガイドに印加された縦バイアス磁界を、非磁性中間層を介して、そのまま磁気抵抗センサの第1の強磁性層に印加することができる。

【0013】すなわち、本発明による磁気抵抗センサは、印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を備える磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗

センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える磁気抵抗センサにおいて、磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層は、磁束ガイドと反強磁性的に結合していることを特徴とする。

【0014】磁気抵抗センサ膜は媒体対向面に露出することなく素子内部に配置されており、磁束ガイドは端面が媒体対向面に露出し素子高さ方向に磁気抵抗センサ膜の位置を越えて延在している。

【0015】本発明による磁気抵抗センサは、また、印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を備える磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える磁気抵抗センサにおいて、磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層は、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して、磁束ガイドと反強磁性的に結合していることを特徴とする。

【0016】磁束ガイド部は1枚の磁性膜で構成することができる。また、磁束ガイドは、第1の磁束ガイド部と第2の磁束ガイド部とから構成することもできる。その場合、第1及び第2の磁束ガイド部は、媒体対向面から素子高さ方向に連続させ、磁気抵抗センサ膜よりも素子高さ方向に媒体対向面から離れた位置において磁氣的に接続する。

【0017】磁束ガイドにバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層を設けることが好ましい。磁束ガイドにバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層を設けることにより、磁束ガイドと磁氣的に反強磁性的に結合している強磁性層にも縦バイアス磁界が実効的に印加される。

【0018】縦バイアス印加層は、印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層が非磁性中間層を介して磁束ガイドと接している領域を含むもしくは略同一の領域において磁束ガイドと積層して設けることができる。また、縦バイアス印加層は、磁束ガイドのトラック幅方向の両端に設けることができる。磁束ガイドが前記第1の磁束ガイド部と第2の磁束ガイド部とからなっている場合には、第1の磁束ガイド部と第2の磁束ガイド部の間に設けてもよい。

【0019】磁気抵抗センサ膜は、トンネル障壁層を介して積層された第1の強磁性層と第2の強磁性層とを備え、第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転し、第1の強磁性層の磁化の方向と前記第2の強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化するタイプの磁気抵抗センサ膜とすることができる。第1の強磁性層は印加される磁界に応じてその磁化の方向が回転し、印加される磁界がゼロの

ときに第1の強磁性層の磁化の方向が第2の強磁性層の磁化の方向とある角度をなし、第1の強磁性層の磁化の方向と第2の強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化する。

【0020】磁気抵抗センサ膜は、少なくとも2層の強磁性層が非磁性導電層を介して少なくとも一回以上積層されており、非磁性導電層を介して隣接する強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化するタイプの磁気抵抗センサ膜としてもよい。

【0021】また、磁気抵抗センサ膜は、非磁性導電層を介して第1の強磁性層と第2の強磁性層が積層されており、第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転し、第2の強磁性層の磁化の方向は略素子高さ方向に拘束されており、印加される磁界がゼロのときに第1の強磁性層の磁化の方向が第2の強磁性層の磁化の方向とある角度をなし、第1の強磁性層の磁化の方向と第2の強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化するタイプの磁気抵抗センサ膜とすることもできる。

【0022】本発明による磁気ヘッドは、印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を有する磁気抵抗センサ膜と、前記磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、前記磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層と反強磁性的に結合して前記磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える再生ヘッドを含むことを特徴とする。

【0023】本発明による磁気ヘッドは、また、トンネル障壁層を介して積層された第1の強磁性層と第2の強磁性層とを備え、第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転する磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層と反強磁性的に結合し磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える再生ヘッドを含むことを特徴とする。

【0024】本発明による磁気ヘッドは、また、非磁性導電層を介して積層された第1の強磁性層と第2の強磁性層とを備え、第1の強磁性層は印加される磁界に応じて磁化の方向が回転し、第1の強磁性層の磁化の方向と第2の強磁性層の磁化の方向の相対的な角度が変わることによって電気抵抗が変化する磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層と反強磁性的に結合し磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える再生ヘッドを含むことを特徴とする。

【0025】磁束ガイドにバルクハウゼンノイズを抑制するための縦バイアス印加層を設けるのが好ましい。前記磁気ヘッドは、また記録ヘッドとして誘導型薄膜記録ヘッドを備えるのが好ましい。

【0026】本発明による磁気記録再生装置は、磁気記録媒体と、記録部と再生部とを備える磁気ヘッドと、磁気ヘッドを磁気記録媒体に対して相対運動させる駆動手段と、記録再生信号処理手段とを含む磁気記憶装置において、磁気ヘッドの再生部は、印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層を含む磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、磁気抵抗センサ膜の印加される磁界の大きさに応じて磁化の方向が回転する強磁性層と反強磁性的に結合し磁気記録媒体からの漏洩磁束を前記磁気抵抗センサ膜に導くための磁束ガイドとを備えることを特徴とする。

【0027】本発明による磁気抵抗センサは、また、第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層及び反強磁性層が順に形成された磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドとを備える磁気抵抗センサにおいて、第1の強磁性層と磁束ガイドは、Ru、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層を介して形成されていることを特徴とする。非磁性層はトンネル障壁層とすることができる。

【0028】本発明による磁気ヘッドは、また、第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層及び反強磁性層が順に形成された磁気抵抗センサ膜と、磁気抵抗センサ膜に信号検出電流を流すための一対の電極と、磁気抵抗センサ膜に磁気記録媒体からの漏洩磁束を導くための磁束ガイドと、当該磁束ガイドと前記第1の強磁性層との間に形成されたRu、Cr、Rh、Irあるいはそれらの合金からなる非磁性中間層とを備えることを特徴とする。非磁性層はトンネル障壁層とすることができる。

【0029】

【発明の実施の形態】まず、磁束ガイドと第1の磁性層が強磁性的に結合している場合と反強磁性的に結合している場合の違いをモデル計算によって検討した。計算のモデルは、図1の上段に模式図を示してあるように、簡単のために磁気シールドがない場合に、媒体対向面1から磁束ガイド10に媒体からの磁束が侵入し、磁束ガイド10と非磁性中間層21を介して(A)強磁性結合、(B)反強磁性結合している磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層22の磁化を回転させるというものである。2層の強磁性層としてCoFeを用い、膜厚は磁束ガイド10を5.6nm、第1の強磁性層22を3.3nmとした。非磁性中間層21は、強磁性結合の場合Ru:

1.4nm、反強磁性結合の場合Ru:0.8nmとした。ただし、具体的な膜材料、膜厚によらず、2層の強



磁性層が強磁性結合と反強磁性結合していれば同じ結果が得られ、図1に示した計算結果が得られる条件は上記具体例の場合に限定されるものではない。

【0030】図1の中段と下段は、それぞれ、侵入した磁束が作用する強磁性体の実効的な磁化量と、第1の強磁性層22の磁化の回転角を定性的に表したものである。ここで、実効的な磁化量は、第1の強磁性層22がない部分では磁束ガイド10の飽和磁束密度 $B_s$ と膜厚 $t$ の積 $B_s \cdot t$ であるが、第1の強磁性層22が結合している部分では、(A)強磁性結合している場合には、磁束ガイド10の $B_s \cdot t$ と第1の強磁性層22のそれとの和になり、(B)反強磁性結合している場合には、これらの差になる。

【0031】従って、(B)反強磁性結合している場合には、(A)強磁性結合している場合に比べて、第1の強磁性層22が結合している部分の実効的な磁化量が小さくなるため、侵入してきた磁束によって回転する磁化の角度が大きくなる。このことは、固定層を設けてGMR効果或いはTMR効果として観測した場合には、固定層の磁化との相対的な角度が大きくなるため、大きな出力が得られることを示している。

【0032】次に、本発明の実施の形態について、図面を用いて説明する。

【実施の形態1】図2に、本発明の一実施の形態である磁気抵抗センサの断面模式図を示す。図において、1は媒体対向面、100は素子高さ方向、101はトラック幅方向である。

【0033】基板上（不図示）に、例えば $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 膜からなる上部シールド層11、下部シールド層12の間に、例えば膜厚10nmの $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 膜からなる磁束ガイド10を配置した。磁束ガイド10は、媒体対向面1から素子高さ方向100に伸びており、媒体対向面から離れた位置で、例えば膜厚0.8nmのRuからなる非磁性中間層21を介して、GMR効果磁気抵抗センサ膜の自由層である第1の強磁性層22と反強磁性的に結合している。さらに、第1の強磁性層22は、非磁性導電層231を介して、反強磁性層25との交換結合によりその磁化の方向が拘束されている第2の強磁性層24と積層されている。これらの第1の強磁性層22、非磁性導電層231、第2の強磁性層24、反強磁性層25とによりGMR効果磁気抵抗センサ膜が構成されている。

【0034】なお、図中には、反強磁性層25の下に下地層26を設けてあるが、第2の強磁性層24と反強磁性層25との間の交換結合が安定なヘッド動作を行うのに十分であるならば、特に下地層26を設ける必要はない。また、磁束ガイド10及びGMR効果磁気抵抗センサ膜と、上部シールド層11、下部シールド層12の間には、例えば酸化アルミニウムと酸化シリコンの混合膜などの絶縁膜が形成されている。

【0035】第1の強磁性層22及び第2の強磁性層24には、 $\text{Ni-Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、 $\text{Co-Fe}$ 、 $\text{Ni-Fe-Co}$ 及びこれらの積層膜を用いることができるが、非磁性導電層231との界面には、Co含有量が多い材料を用いることが望ましい。非磁性導電層231には、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Cu}$ 及びこれらの合金を、また、反強磁性層25には、 $\text{Ir-Mn}$ 、 $\text{Mn-Pt}$ 、 $\text{Mn-Pd-Pt}$ 、 $\text{Ni-Mn}$ を用いることができる。

【0036】非磁性中間層21の材料としては、Ru以外にもCr、Rh、Ir及びそれらの合金を用いることができ、これらの材料において反強磁性結合が生じる膜厚は材料により異なるが、概ね0.4nmから5nmの範囲である。これらの材料を中間層に用いると、その上下の2層の強磁性層の間の結合は、中間層膜厚に対して強磁性結合→反強磁性結合→強磁性結合→反強磁性結合→・・・と振動することが知られている。その原因については、明確ではないが、Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida相互作用（RKKY相互作用）であるとも言われている。

【0037】GMR効果磁気抵抗センサ膜と磁束ガイド10のトラック幅方向101の両端に、Cr下地膜上に $\text{CoCrPt}$ 膜を形成した縦バイアス印加層（図8、9参照）と、さらにその上にTaWを介してTaからなる電極を設け、安定に動作するGMR効果磁気抵抗センサが得られる。

【0038】このように磁束ガイド10のトラック幅方向に電極を設けると、センス電流が磁束ガイド膜にも分流して出力が低下するので、磁束ガイド10に磁性体と酸化物の不連続多層膜、例えば $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ :1.5nmと酸化シリコン:1.0nmの多層膜を用いてもよい。この磁性体と酸化物の不連続多層膜は、スパッタリング法で、磁性体ターゲットと酸化物ターゲットを準備し、基板に交互に成膜することで得られる。薄膜では、膜厚が厚いと連続膜になるが、薄いとき島状構造と呼ばれる不連続膜になるため、これを利用して不連続多層膜を作成することができる。

【0039】なお、自由層である第1の強磁性層22、固定層である第2の強磁性層24の磁化の方向は、再生素子の成膜工程が完了した後（上部シールド層11を形成した後）に次のような熱処理を施して制御した。まず、反強磁性層25と第2の強磁性層24との間に交換結合が生じる温度 $T_1$ （ $T_1$ は反強磁性材料により異なる）以上の温度から、素子高さ方向に例えば最大15kOeの磁界を印加しながら磁界中冷却した後、 $T_1$ 以下の温度まで昇温し、トラック幅方向に例えば1kOeの磁界を印加しながら冷却する。これにより、第1の強磁性層22の磁化の方向を略トラック幅方向に、第2の強磁性層24の磁化の方向を略素子高さ方向に向けることができる。

【0040】以上のような磁気抵抗センサの上に、記録



ギャップを介して積層された一対の磁気コアからなる記録素子を作製すると、磁気記録再生装置に用いる磁気ヘッドが得られる。作製した磁気ヘッドについて、再生特性の評価を行った。比較のため、磁気抵抗センサ膜が媒体対向面1に露出している比較例1の磁気ヘッド（磁束ガイド10がない構造）、及び磁束ガイド10と第1の強磁性層22とが強磁性的に結合している比較例2の磁気ヘッド（非磁性中間層21の膜厚を $Ru:1.4\text{nm}$ にして、磁束ガイド10と第1の強磁性層22とを強磁性結合させた以外は、実施の形態1の磁気ヘッドと同様のヘッド）も作製し、同様の評価を行った。なお、磁束ガイド10の $B_s \cdot t$ は $10\text{nm} \cdot \text{T}$ 、第1の強磁性層22の $B_s \cdot t$ は $6\text{nm} \cdot \text{T}$ とした。

【0041】表1に、本発明の磁気ヘッド、比較例1の

磁気ヘッド、比較例2の磁気ヘッドそれぞれ30個についてヘッド出力を測定した結果を示す。再生特性の評価は、保磁力 $H_c$ が $4000\text{Oe}$ 、磁化量 $M_r \cdot t$ が $0.4\text{T} \cdot \text{nm}$ の特性を有する $\text{CoCrPt}$ 系磁気記録媒体に、約 $6.7\text{Gb/in}^2$  ( $0.010\text{Gb/mm}^2$ )の記録密度で記録したパターンを、作成したヘッドを用いて、磁氣的浮上量 $18\text{nm}$ で再生波形の測定を行った。ここで、 $M_r$ は媒体材料の残留磁化、 $t$ は膜厚であり、磁氣的浮上量とは媒体の $\text{CoCrPt}$ 層表面と再生ヘッドの媒体対向面の磁気抵抗センサ膜先端との間隔のことである。

【0042】

【表1】

ヘッドNo.	本発明のヘッド の出力( $\mu\text{V}$ )	磁気抵抗センサ膜が媒体 対向面に露出している ヘッドの出力( $\mu\text{V}$ )	磁束ガイドと第1の強磁性層 が強磁性的に結合している ヘッドの出力( $\mu\text{V}$ )
1	1280	1350	420
2	1370	1250	450
3	1330	1450	430
4	1350	1350	440
5	1360	1360	450
6	1280	1280	440
7	1370	1450	410
8	1270	1270	420
9	1250	1180	450
10	1280	1280	440
11	1300	1440	410
12	1330	1280	430
13	1290	1300	420
14	1280	1310	440
15	1310	1290	450
16	1350	1280	430
17	1320	1220	420
18	1260	1350	440
19	1350	1340	450
20	1340	1350	420
21	1250	1280	440
22	1260	1300	420
23	1260	1280	420
24	1320	1420	440
25	1300	1300	430
26	1270	1370	440
27	1320	1340	430
28	1300	1350	450
29	1360	1200	430
30	1300	1280	440
平均値	1310	1320	430
ばらつき	$\pm 4.8\%$	$\pm 10.6\%$	$\pm 4.6\%$

【0043】測定した磁気ヘッドの再生出力の平均値を比較すると、本発明の磁気ヘッドは、磁気抵抗センサ膜が媒体対向面に露出している磁気ヘッドとほぼ同等の出力が得られ、磁束ガイド10と第1の強磁性層22が強磁性的に結合している比較用の磁気ヘッドは、本発明の磁気ヘッドの約30%の出力しか得られなかった。また、再生出力のばらつきについて、本発明の磁気ヘッドと磁気抵抗センサ膜が媒体対向面に露出している比較用の磁気ヘッドとを比較すると、前者は $\pm 4.8\%$ であるのに対し、後者は $\pm 10.6\%$ とばらつきが大きい。後者においてばらつきが大きくなるのは、磁気抵抗センサ膜が媒体対向面に露出していると、媒体対向面の加工のばらつきにより素子高さがばらつき、それにより(1)素子抵抗が変化してしまうこと、(2)自由層に作用す

る3つの磁界（固定層からの静磁界、固定層と自由層の層間結合磁界、センス電流が作る磁界）のバランスが崩れて、適正なバイアス状態ではなくなることで、原因である。一方、本発明の磁気ヘッドでは、媒体対向面の加工がばらついても、磁束ガイド10の磁気抵抗センサ膜よりも媒体対向面側の長さが変わるが、磁気抵抗センサ膜の素子高さは変化しないので、素子抵抗やバイアス状態はほとんど変化することがない。従って、本発明により、磁気抵抗センサ膜が媒体対向面に露出している磁気ヘッドと同等の再生出力で、かつ特性ばらつきの小さい磁気ヘッドを作製することができる。

【0044】【実施の形態2】実施の形態1においては、磁束ガイドが磁束ガイド10のみで構成されているが、図3に示すように、第1の磁束ガイド部110と第

2の磁束ガイド部111の2つの部分で磁束ガイドを構成してもよい。GMR効果磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層(自由層)22とは、第1の磁束ガイド部110の一部で非磁性中間層21を介して反強磁性的に結合している。第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111は、GMR効果磁気抵抗センサ膜が配置されている位置よりも、より素子高さ方向に奥まった位置で接しており、これらの磁束ガイド部110、111は磁気回路を形成しており、媒体から侵入した磁界が磁気回路に沿って通り抜ける。

【0045】このような構成にすると、実施の形態1の磁気抵抗センサによって再生した波形を微分したような波形が得られるので、垂直記録の再生に好適である。図17に、記録密度が低い孤立波を実施の形態1の磁気抵抗センサによって再生した時の再生波形と図3に構造を示した本実施の形態の磁気抵抗センサによって再生した時の再生波形を示す。垂直記録された媒体を、図2のように1枚の磁束ガイド10を有する磁気ヘッドで再生すると、図17(b)のように正負にピークがある再生波形(双峰性波形)が得られる。現在の磁気ディスク装置の信号処理系はピークが一つしか現れない単峰性波形を処理するように設計されているので、この再生信号を処理するには別途微分回路を設ける必要がある。しかし、図3のように2枚の磁束ガイド部110、111を有する磁気ヘッドで再生すると、図17(a)のような単峰性波形が得られるので、新たに信号処理系を設計・作製する必要がないため、垂直記録に好適である。

【0046】また、図4のように、第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111が形成する磁気回路の内部にGMR効果磁気抵抗センサ膜を配置してもよい。図3に示した上部シールド層11とGMR効果磁気抵抗センサ膜の間に第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111を形成する構造は、図4に示した第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111が形成する磁気回路の内部にGMR効果磁気抵抗センサ膜を配置する構造に比べると作製が容易ではあるが、上部シールド層11と下部シールド層12の間隔を狭くすることができないため、高記録密度用ヘッドを作製するのは難しくなる。一方、図4に示した構造は、作製は困難であるが、磁束ガイドの中にGMR効果磁気抵抗センサ膜が配置されている分だけ、(GMR効果磁気抵抗センサ膜+磁束ガイド)の厚さを薄くできるので、上部シールド層11と下部シールド層12の間隔を狭くすることができるという利点がある。

【0047】ここで、GMR効果磁気抵抗センサの場合には膜面にセンス電流を流すので、これと接している第1及び第2の磁束ガイド部110、111にもセンス電流が分流し出力が低下する。そのため、これらを電気抵抗の高い軟磁性膜、例えば、前述のような磁性体と酸化物の不連続多層膜で形成することが望ましい。

【0048】[実施の形態3] 図5は、本発明の他の実施の形態である磁気抵抗センサの基本的な構成を表す図である。本実施の形態では、磁気抵抗センサ膜としてTMR効果膜を用いている。実施の形態1と同様に、上部シールド層11、下部シールド層12の間に、磁束ガイド10が配置されており、磁束ガイド10は、媒体対向面1から素子高さ方向100の、TMR効果磁気抵抗センサ膜が設けられている位置よりも奥まで設ける。TMR磁気抵抗センサ膜の自由層である第1の強磁性層22の磁化は、非磁性中間層21を介して磁束ガイド10の磁化と反強磁性的に結合している。さらに、第1の強磁性層22は、トンネル障壁層232を介して、反強磁性層25との交換結合によりその磁化の方向が拘束されている第2の強磁性層24と積層されている。TMR効果磁気抵抗センサ膜は、これらの第1の強磁性層22、トンネル障壁層232、第2の強磁性層24、反強磁性層25とにより構成されている。

【0049】反強磁性層25の下には、下地層26を設けてあるが、第2の強磁性層24と反強磁性層25との間の交換結合が安定なヘッド動作を行うのに十分であるならば、下地層26は特に設ける必要がない。但し、下地層26には、TMR効果磁気抵抗センサ膜の膜厚方向にセンス電流を流すために、下部電極32が接続されている。従って、下地層26は電極の一部としての役割も有し、さらに下地層26と下部電極32の合計の厚さを上部シールド層11と下部シールド層12との間隔を調整する役割もある。さらに、下部電極32は下部シールド層12に接続し、下部シールド層12を下部電極の一部として用いている。一方、上部電極31は、磁束ガイド10の一部に接続されている。

【0050】第1の強磁性層22及び第2の強磁性層24には、実施の形態1と同様に、Ni-Fe、Co、Co-Fe、Ni-Fe-Co及びこれらの積層膜を用いることができるが、トンネル障壁層232との界面にはスピン分極率の大きい材料を用いることが望ましい。反強磁性層25には、Ir-Mn、Mn-Pt、Mn-Pd-Pt、Ni-Mnを用いることができる。また、非磁性中間層21の材料としては、Ru、Cr、Rh、Ir及びそれらの合金を用いることができ、その膜厚は概ね0.4nmから5nmの範囲である。トンネル障壁層232には、Al、Si、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Hf、Taのグループから選ばれる金属の酸化物及びそれらの混合物を用いることができ、厚さは0.5nmから3.0nmである。

【0051】なお、磁束ガイド10、TMR効果磁気抵抗センサ膜や上部電極31と、上部シールド層11、下部シールド層12、下部電極32の間には、例えば酸化アルミニウムと酸化シリコンの混合膜などの絶縁膜が形成されている。下部シールド層12は必ずしも電極を兼用する必要はなく、また、上部電極31を上部シールド

層11に接続して上部シールド層12を電極の一部として用いることもできる。

【0052】上述の構造では、TMR効果磁気抵抗センサ膜と下部シールド層12との間に下部電極32が配置されているが、図6に示すように、下部シールド層12上のTMR効果磁気抵抗センサ膜の近傍に下部電極32を配置してもよく、さらには特に下部電極を設けず、下部シールド層12を電極と兼用してもよい。

【0053】TMR効果磁気抵抗センサ膜を用いる磁気抵抗センサを、図5、6に示すように、TMR効果磁気抵抗センサ膜の自由層である第1の強磁性層22の磁化を非磁性中間層21を介して磁束ガイド10の磁化と反強磁性的に結合させ、TMR効果磁気抵抗センサ膜をセンサ内部に配置した構造を採用することにより、TMR効果磁気抵抗センサ膜が媒体対向面に露出させた磁気抵抗センサに比べて、次のようなメリットがある。すなわち、TMR効果磁気抵抗センサ膜の場合には、トンネル障壁層232の上下に位置する第1の強磁性層22及び第2の強磁性層24が媒体対向面1のラップ加工の際に短絡してしまうと出力が出なくなるが、図5あるいは図6に示す構造では、ラップ加工の際には磁束ガイド10が削られ、TMR効果磁気抵抗センサ膜は全く削られることがないので、加工に伴う不良をかなり減らすことができる。

【0054】次に、図7～図9を用いて縦バイアス磁界を印加するための構造について説明する。これらは、図5あるいは図6が基本になっており、それに縦バイアス磁界を印加するための構造を設けたものである。なお、図において、非磁性中間層21までは俯瞰図で、それよりも上側については部分断面図になっている。

【0055】磁束ガイドを設けた磁気抵抗センサにおいては、磁気抵抗センサ膜の自由層のバルクハウゼンノイズを抑制することは当然であるが、その他にも、磁束ガイド膜で発生したノイズを自由層がそのまま信号として拾ってしまうので、磁束ガイドにも縦バイアス磁界を印加する必要がある。本発明においては、自由層である第1の磁性層22と磁束ガイド10が反強磁性的に結合しているため、いずれか一方に縦バイアス磁界を印加するための構造を設けることにより、両方に縦バイアス磁界が印加されることになる。

【0056】図7は、磁束ガイド10上に縦バイアス印加層33を積層した構造であり、図8及び図9は、縦バイアス印加層33を磁束ガイド10の両端及び両脇に設けた構造である。いずれの構造においても、磁束ガイド10と第1の強磁性層22の両方のバルクハウゼンノイズを抑制することができる。

【0057】縦バイアス印加層33としては、永久磁石材料を用いることができる。代表的には、Cr下地上にCoCrPt膜を形成したものとすることができる。その他、CoCrTa、CoPt、CoCrPtTaや、

これらにZrO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などを添加した材料を用いてもよい。縦バイアス印加層33の膜厚は、自由層の膜厚、永久磁石材料の残留磁束密度の値などに応じて8～120nmの範囲とすることができるが、典型的には30～40nmである。磁気特性は代表的には、保磁力H<sub>c</sub>：2000Oe、残留磁束密度B<sub>r</sub>：0.8T、角型比B<sub>r</sub>/B<sub>s</sub>：0.85であるが、これに限定されるものではない。磁化の方向は、トラック幅方向である。

【0058】なお、ここでは磁気抵抗センサ膜としてTMR効果膜を用いた磁気抵抗センサの磁束ガイドに縦バイアス印加層33を設けた場合について説明したが、図2に示したGMR効果磁気抵抗センサ膜を用いた磁気抵抗センサの磁束ガイドにも図7～図9と全く同様にして縦バイアス印加層を設けることができ、それによって磁束ガイド10とGMR効果磁気抵抗センサ膜の第1の自由層22の両方のバルクハウゼンノイズを抑制することができる。

【0059】【実施の形態4】実施の形態3では、磁束ガイドは1枚の磁束ガイド10で構成されているが、図10に示すように、第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111の2つの部分で磁束ガイドを構成してもよい。TMR効果磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層22とは、第1の磁束ガイド部110の一部で非磁性中間層21を介して反強磁性的に結合している。第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111は、TMR効果磁気抵抗センサ膜が配置されている位置よりも、より素子高さ方向に奥まった位置で接しており、これらの磁束ガイド部110、111は磁気回路を形成しており、媒体から侵入した磁界が磁気回路に沿って通り抜ける。このような構成は垂直記録の再生に好適である。なお、上部電極31及び下部電極32の配置は、TMR効果磁気抵抗センサ膜の膜厚方向にセンス電流が供給できれば、必ずしも本図の限りではない。

【0060】第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111の2つの部分から構成される磁束ガイドに縦バイアス印加層を設けた構造を図11～図13に示す。図11では、第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111に挟まれた部分に縦バイアス印加層を設けてあり、これにより、2つの磁束ガイド部とTMR効果磁気抵抗センサ膜の自由層である第1の強磁性層22のバルクハウゼンノイズを抑制することが可能である。図12では、2つの磁束ガイド部110と111で挟まれた部分に非磁性ギャップ層35を設け、2つの磁束ガイド部110と111と非磁性ギャップ層35の両脇に一对の縦バイアス印加層33を配置したものである。また、図13は、2つの磁束ガイド部110と111のそれぞれの両脇に縦バイアス印加層330と331を各一对配置したものである。いずれの構造においても、第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部1

11と第1の自由層22のバルクハウゼンノイズを抑制することができる。

【0061】図11の構造のメリットは、磁束ガイド110と縦バイアス印加層33と磁束ガイド111を成膜した後に、一度でパターン形成できることである。ただし、磁束ガイド110を構成する材料が一般的には面心立方(FCC)構造であるため、その上に永久磁石膜(縦バイアス印加層)を形成したときに大きな保磁力が得られにくいというデメリットがある。この難点を解消するのが図12あるいは図13に示した構造である。図13の構造は、図12の構造に比べるとプロセスが複雑になる欠点はあるが、図12の構造では縦バイアス印加層33の膜厚が厚くなり必要以上に大きな縦バイアス磁界が発生する恐れがあるので、そのような場合には図13のように2つの磁束ガイド110と111にそれぞれ別個に縦バイアス印加層330、331を設ければよい。

【0062】また、図14に示すように、第1の磁束ガイド部110と第2の磁束ガイド部111が形成する磁気回路の内部にTMR効果磁気抵抗センサ膜を配置することもできる。但し、この場合には、上部電極31から第2の磁束ガイド部111を通して下部電極32にセンス電流が短絡しないように、第2の磁束ガイド部を電気抵抗の高い軟磁性膜、例えば、磁性体と酸化物の不連続多層膜で形成する必要がある。この構造における縦バイアス印加層については、図13のように、2つの磁束ガイド部それぞれに縦バイアス印加層を配置するのが好ましい。また、図14に示す構造を採用すると、図3と図4の関係のように、上部シールド層11と下部シールド層12の間隔を狭くすることができる。

【0063】なお、本実施の形態では磁気抵抗センサ膜としてTMR効果膜を用いた磁気抵抗センサの磁束ガイドに縦バイアス印加層を設けた場合について説明したが、図3あるいは図4に示したGMR効果磁気抵抗センサ膜を用いた磁気抵抗センサの磁束ガイドにも図11～図13と全く同様にして縦バイアス印加層を設けることができ、それによって磁束ガイド110とGMR効果磁気抵抗センサ膜の第1の強磁性層22の両方のバルクハウゼンノイズを抑制することができる。

【0064】【実施の形態5】図15は、本発明による磁気ヘッドの構造を示す部分断面斜視図である。図15に示すように、上記実施の形態に示した磁気抵抗センサ膜を用いた磁気抵抗センサを再生素子2として用い、その上に、下部磁極14及び上部磁極13の一对の磁気コアと、その磁気コアと鎖交するコイル16からなる記録素子3を設けると、より高い記録密度に対応した磁気ヘッドを提供することができる。

【0065】また、このような磁気ヘッドを用いると、高い記録密度を有する磁気記録再生装置を提供することができる。図16は、その一実施の形態の概略図であ

る。磁気記録再生装置は、情報を磁気的に記録する磁気記録媒体201と、これを回転させるモーター202と、磁気記録媒体201への情報の書き込みと読み出しを行う磁気ヘッド203と、これを支えるサスペンション204と、磁気ヘッドの位置決めを行うアクチュエーター205と、情報(記録再生信号)を処理するリード/ライト回路206などを有している。磁気ヘッド203として、図15に示す磁気ヘッドを用いると、高記録密度の磁気記録再生装置を実現することができる。

【0066】また、上記磁気記録再生装置を複数台組み合わせることで、ディスクアレイ装置を組むことができる。この場合、複数の磁気記録再生装置を同時に扱うため、情報の処理能力を速くでき、また装置の信頼性を高めることができる。

【0067】以上の実施の形態では、磁気抵抗センサ膜の上に磁束ガイドを設けているが、磁束ガイド上に非磁性中間層を介して自由層である第1の強磁性層、非磁性導電層あるいはトンネル障壁層、第2の強磁性層、反強磁性層を積層する構造にしても、本発明の効果は変わるものではない。また、記録素子を形成した後にその上に再生素子を設けても同様である。

【0068】

【発明の効果】本発明によれば、GMR効果膜及びTMR効果膜などの磁気抵抗センサ膜を媒体対向面に露出させずに磁束ガイドを用いる構造において、磁束ガイドと自由層を反強磁性的に結合させることにより感度の向上を図り、かつ、磁束ガイド膜及び磁気抵抗センサ膜の自由層の両方に縦バイアス磁界を印加することにより高い安定性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術と本発明の違いを示すモデル計算の結果を示す図。

【図2】本発明による磁気抵抗センサの一例の断面模式図。

【図3】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図4】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図5】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図6】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図7】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図8】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図9】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図10】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図11】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図12】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図13】本発明による磁気抵抗センサの他の例の断面模式図。

【図14】本発明の実施の形態4の磁気抵抗センサにおける他の断面構造を示す図。

【図15】本発明の磁気ヘッドの構造を示す俯瞰及び部分断面図。

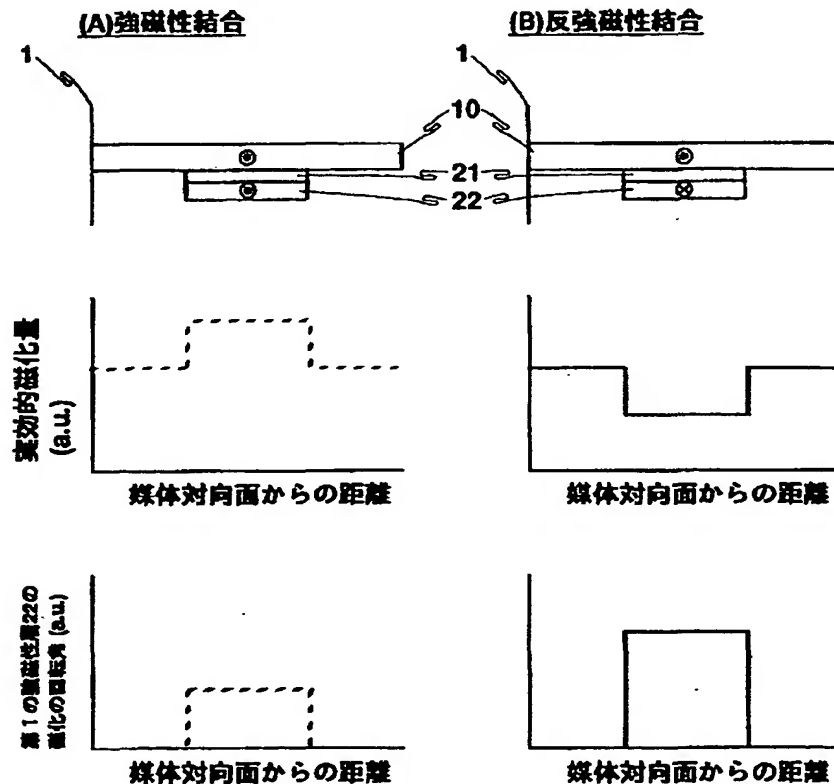
【図16】本発明の磁気記録再生装置の概略図。

【図17】孤立波の再生波形の説明図。

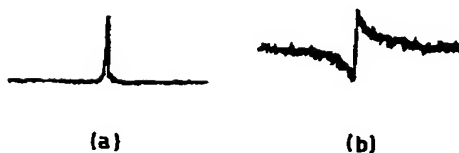
【符号の説明】

1：媒体対向面、2：再生素子、3：記録素子、10：磁束ガイド膜、110：第1の磁束ガイド部、111：第2の磁束ガイド部、11：上部シールド層、12：下部シールド層、13：上部磁極、14：下部磁極、15：磁気抵抗センサ膜、16：コイル、21：非磁性中間層、22：第1の強磁性層、231：非磁性導電層、232：トンネル障壁層、24：第2の強磁性層、25：反強磁性層、26：下地層、31：上部電極、32：下部電極、33：縦バイアス印加層、330：第1の縦バイアス印加層、331：第2の縦バイアス印加層、35：非磁性ギャップ層、100：素子高さ方向、101：トラック幅方向

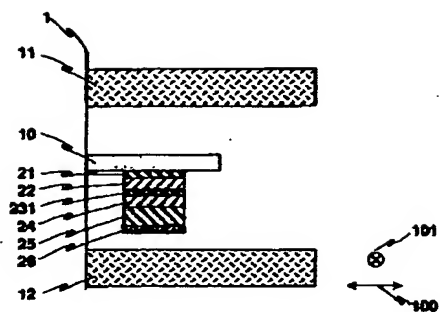
【図1】



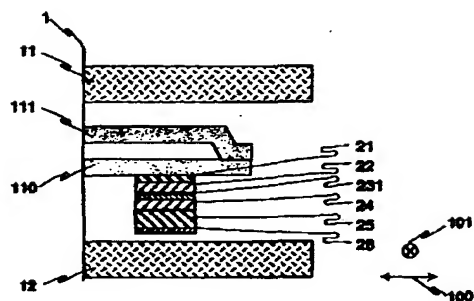
【図17】



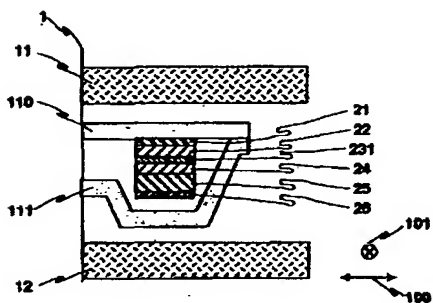
【図2】



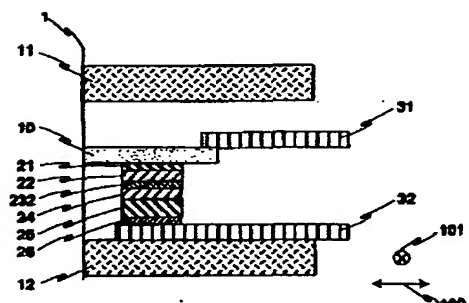
【図3】



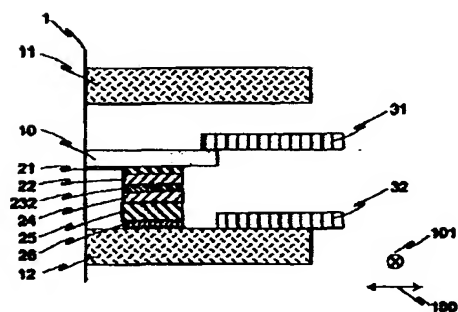
【図4】



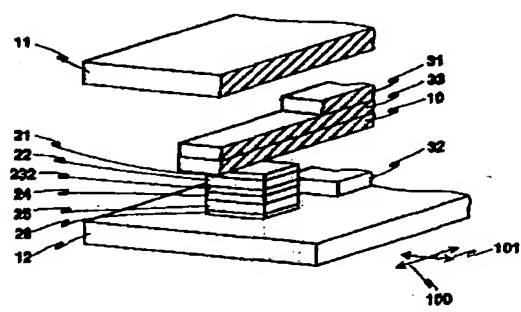
【図5】



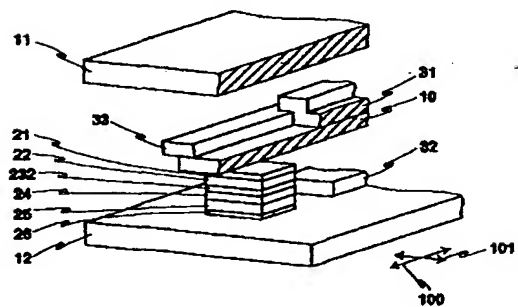
【図6】



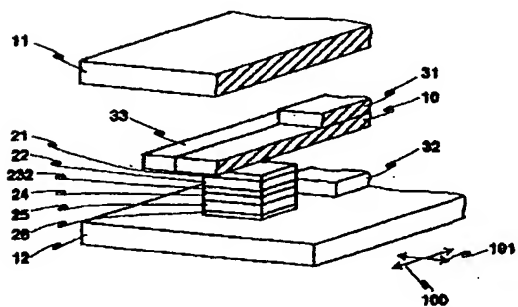
【図7】



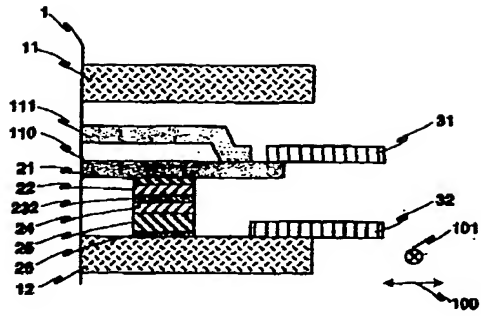
【図8】



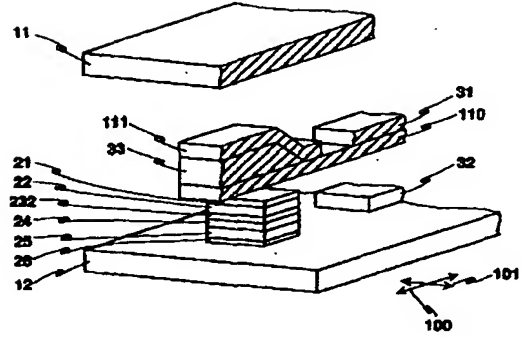
【図9】



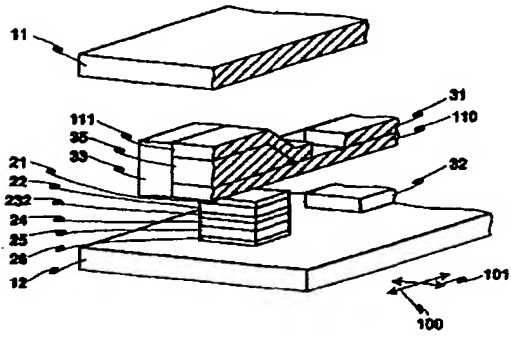
【図10】



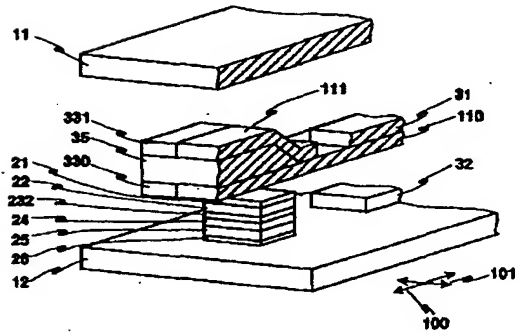
【図11】



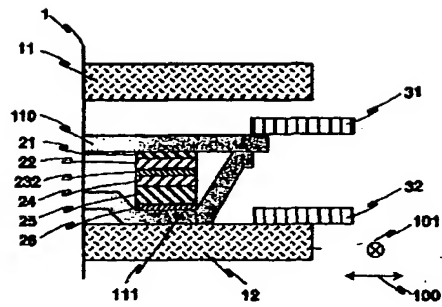
【図12】



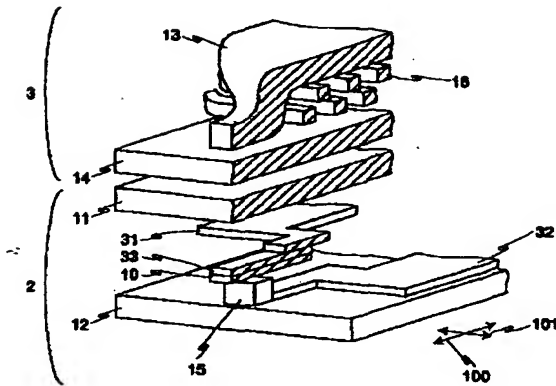
【図13】



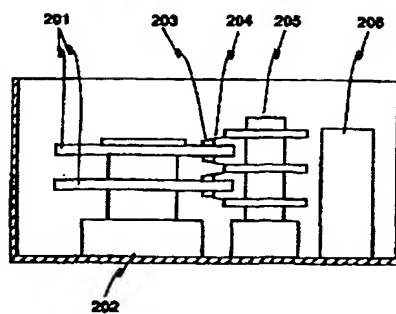
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 荒井 礼子

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AD54

5D034 BA04 BA05 BA08 BA18 BB08

BB12 CA04 CA08

5E049 AA04 CB02 DB02 DB12